

Aus der Arbeitsgruppe Arbeits- und Umweltepidemiologie & Net Teaching  
Leitung: Prof. Dr. rer. biol. hum. K. Radon, MSc

des Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und  
Umweltmedizin der  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. D. Nowak

**"Aufmerksamkeitsdefizite  
bei chilenischen Muscheltauchern"**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Benedikt Anselm Hindelang

aus München

2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Katja Radon, MSc
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Heinz-Erich Wichmann Prof. Dr. Karl-Heinz Herbinger Prof. Dr. Robert Perneczky
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündlichen Prüfung:	30.11.2017

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	
1 Einleitung .....	1
1.1 Tauchen weltweit und in Chile.....	1
1.2 Pathophysiologische Grundlagen des Tauchens .....	4
1.3 Neurologisch-kognitive Langzeitschäden des Tauchens.....	6
1.3.1 Diskutierte Pathomechanismen für neurologisch-kognitive Langzeitschäden.....	7
1.3.1.1 Nervenzelluntergang durch Dekompression .....	7
1.3.1.2 Nervenzelluntergang durch Kompression .....	8
1.3.2 Forschungsstand zu Ausmaß und Risikofaktoren .....	9
1.3.2.1 Studien zu morphologischen Veränderungen in der Bildgebung.....	9
1.3.2.2 Studien mit primär Fragebogen-basiertem oder psychometrischem Ansatz .....	10
1.4 Therapie und Prävention der akuten Dekompressionserkrankung und kognitiver Langzeitschäden des Tauchens .....	13
2 Zielsetzung .....	16
3 Methoden und Material .....	17
3.1 Untersuchungskollektiv.....	17
3.1.1 Der Studienort und die lokalen Tauchbedingungen .....	17
3.1.2 Zusammensetzung der Studienpopulation.....	21
3.2 Untersuchungsablauf.....	22
3.3 Psychometrische Testung mittels Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2 .....	24
3.4 Fragebogenuntersuchung .....	26
3.5 Statistische Auswertung .....	28
4 Ergebnisse .....	32
4.1 Deskriptive Daten.....	32
4.1.1 Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern des Tests d2 .....	32
4.1.2 Kognitive Testung .....	34
4.2 Ergebnisse der bivariaten Analysen .....	35
4.3 Ergebnisse der multiplen logistischen und linearen Regression .....	37
5 Diskussion .....	40
5.1 Diskussion der Methoden.....	40
5.1.1 Studiendesign und Untersuchungskollektiv .....	40
5.1.2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 .....	42
5.1.3 Fragebogen .....	43
5.2 Diskussion der Ergebnisse .....	44
5.2.1 Selektionsbias.....	44

5.2.2 Subjektive Beschwerden bezüglich „Vergesslichkeit und Konzentrationsschwäche“ .....	45
5.2.3 Bedeutung der mäßig erhöhten Werte der Schwankungsbreite .....	46
5.2.4 Ergebnisse des Tests d2 im Vergleich zu anderen Studien, die sich dieses Tests bedienten .....	47
5.2.5 Risikofaktoren für die Entwicklung kognitiver Defizite .....	49
5.2.6 Hinweise auf den zugrundeliegenden Pathomechanismus .....	50
5.2.7 Kohlenstoffmonoxid-Intoxikation als weiterer möglicher Pathomechanismus .....	52
5.2.8 Ausblick .....	54
6 Zusammenfassung .....	57
7 Literaturverzeichnis .....	58
8 Anhang .....	66
Danksagung .....	87
Eidesstattliche Versicherung .....	89

## Abkürzungsverzeichnis

95% CI	(engl.) 95% <i>confidence interval</i> (dt. 95-prozentiger Konfidenzintervall)
BMI	Body-Mass-Index
bzw.	beziehungsweise
CBF	(engl.) <i>Cerebral blood flow</i> (dt. zerebraler Blutfluss)
CLP	Chilenische Pesos
CO	Kohlenstoffmonoxid
DCI	(engl.) <i>Decompression illness</i> (dt. Dekompressionserkrankung)
dt.	deutsch
engl.	englisch
GABA	(engl.) <i>Gamma-aminobutyric acid</i> (dt. Gamma-Aminobuttersäure)
GZ-F	Gesamtleistungswert im Test d2 (Gesamtzahl aller bearbeiteten Zeichen – Fehlerrohwert)
ILO	(engl.) “ <i>International Labour Organization</i> ” (dt. Internationale Arbeitsorganisation)
IST	(span.) “ <i>Instituto de Seguridad del Trabajo</i> ” (dt. Institut für Arbeitssicherheit; eine chilenische Berufsgenossenschaft)
KL	Konzentrationsleistungswert im Test d2
MRT	Magnetresonanztomographie
mind.	mindestens
n	Anzahl der Merkmalsausprägungen
NMDA	N-Methyl-D-Aspartat
OR	(engl.) <i>Odds ratio</i> (dt. Quotenverhältnis)
ppm	(engl.) <i>parts per million</i> („Teile pro eine Million“)
SB	Schwankungsbreite im Test d2
SD	(engl.) <i>Standard deviation</i> (dt. Standardabweichung)

span.	spanisch
SPECT	(engl.) <i>Single-photon emission computed tomography</i> (dt. Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie)
vs.	versus

# 1 Einleitung

## 1.1 Tauchen weltweit und in Chile

Seit frühester Zeit bilden Flüsse, Seen und Meere die Grundlage vieler Kulturen. Neben dem Fischen und Sammeln vom Ufer oder von Booten aus haben Menschen vermutlich seit jeher versucht, selbst in die Welt unterhalb der Wasseroberfläche vorzustößen. Durch archäologische Funde in Mesopotamien belegt ist, dass Apnoetaucher schon vor circa 6500 Jahren Perlen vom Meeresgrund hervorgetaucht haben müssen<sup>75</sup>. Erst der naturwissenschaftliche und technische Fortschritt des 19. und 20. Jahrhundert ermöglichte es dem Menschen, längere autonome Tauchgänge unternehmen zu können. Mit verbesserter Sicherheitstechnik und niedrigeren Kosten stieg die Zahl der Taucher weltweit gerade in den letzten 50 Jahren stark an<sup>51</sup>. Für das Jahr 2012 schätzte man die Zahl der weltweit zertifizierten Taucher auf etwa 30 Millionen<sup>84</sup>. Neben dem großen und stetig wachsenden Bereich des Sporttauchens stellt das professionelle Tauchen, zum Beispiel zu Forschungszwecken, beim Militär oder in der Öl-, Gas- und Fischereindustrie, ein wichtiges Feld dar<sup>11</sup>.

Taucher in diesem Bereich setzen sich oft deutlich größeren Tauchbelastungen aus als bei den meisten Sporttauchern üblich. Sie tauchen häufig tiefer und unter Verwendung aufwändigerer technischer Mittel<sup>74</sup>. Dennoch sind in den hochindustrialisierten Staaten dank umfassender Ausbildung und strikter Reglementierung Tauchunfälle selten geworden<sup>115</sup>. Registrierte Fälle der gefürchteten Dekompressionserkrankung (engl. *decompression illness*, DCI) etwa (Kapitel 1.2), die tödlich verlaufen kann, ereignen sich beispielsweise unter den Berufstauchern der Nordsee nur noch 1-2 mal pro Jahr<sup>31</sup>.

Abgesehen von der Gefahr akuter Tauchunfälle gibt es Hinweise auf eine Reihe möglicher langfristiger Gesundheitsrisiken einer Taucherkarriere. Während die dysbare Osteonekrose, verursacht durch zunächst subklinische gasembolisch bedingte Knocheninfarkte<sup>129,137</sup>, heute in Deutschland als Berufskrankheit anerkannt ist<sup>14</sup>, werden vor allem Innenohrschwerhörigkeit, Veränderungen von Lungenparametern und nicht zuletzt neurologisch-kognitive Schäden kontrovers diskutiert<sup>70</sup>. Gerade zum letztgenannten Punkt wurde eine Reihe von Untersuchungen mit teilweise widersprüchlichen Ergebnissen veröffentlicht (Kapitel 1.3.2)<sup>122</sup>.

Neben den professionellen Berufstauchern, beispielsweise in Europa, sind weltweit an vielen Küsten Fischer und Muscheltaucher unter Wasser tätig, deren Ausbildung und Ausrüstung oft nicht modernen Standards entspricht. Nach Angaben der „*Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*“ der „*International Labour Organization*“ (ILO) schätzt man die Zahl dieser sogenannten „einheimischen Taucher“<sup>I</sup> allein für die Karibik und Mittel- und Südamerika auf etwa 30.000<sup>44</sup>. Auch in Südostasien und dem Pazifik tauchen zehntausende Menschen unter ähnlichen Bedingungen<sup>44</sup>.

In den letzten Jahren wurden Studien über die Arbeitsbedingungen solcher Taucher aus Peru<sup>56</sup>, Thailand<sup>45, 46</sup> und den Galapagos-Inseln<sup>139</sup> veröffentlicht. Es zeigte sich, dass viele von ihnen über eine bestenfalls rudimentäre Ausbildung und primitive technische Ausrüstung verfügten. Viele berichteten über regelmäßige Symptome der Dekompressionserkrankung (Tabelle 1)<sup>46, 56, 139</sup>.

**Tabelle 1: Epidemiologische Studien, welche die Prävalenz der Dekompressionserkrankung unter „einheimischen Tauchern“ untersuchten**

Studie	Untersuchungskollektiv	Anteil der Taucher mit DCI* in der Vorgeschichte
<b>Gold et al. 2000 (Thailand)</b> <sup>46</sup>	342 Taucher	67,2% hatten bereits unter Taubheit der Haut, 36,0% unter schwerer DCI* (definiert als Lähmung, Bewusstlosigkeit) gelitten
<b>Westin et al. 2005 (Galapagos Inseln, Ecuador)</b> <sup>139</sup>	12 Taucher	10 von 12 hatten bereits mindestens einmal unter Symptomen der DCI* gelitten
<b>Herranz González-Botas et al. 2008</b> <sup>56</sup> (Peru)	233 Taucher	23,3% gaben vestibuläre Symptome, 19,7% Dyspnoe, 15,6% spinale und 13,4% zerebrale Symptome der DCI* in der Vorgeschichte an

\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung)

In zwei Studien wurde zudem ein ungenügender Schutz der Atemluft gegenüber Verunreinigung durch Kohlenstoffmonoxid aus Motorabgasen festgestellt<sup>47,139</sup>. Die Klinik einer Intoxikation durch dieses Gas kann manchen neurokognitiven Symptomen der Dekompressionserkrankung ähneln<sup>5</sup> (Kapitel 5.2.7). In Bezug auf langfristige Gesundheitsschäden fanden sich unter einheimischen Tauchern ebenfalls Hinweise auf hohe Prävalenzen. So gaben 39% der 98 körperlich untersuchten thailändischen Muscheltaucher Gelenkschmerzen an, Leitsymptom der dysbaren Osteonekrose. Diese Beschwerden waren statistisch signifikant mit der Dauer der Taucherkarriere assoziiert, nicht jedoch mit dem Alter der Taucher, was man als Hinweis darauf interpretieren kann, dass

<sup>I</sup> „indigenous divers“



es sich um eine Folgeschädigung des Tauchens handelt<sup>46</sup>. Herranz González-Botas et al. (2008) fanden bei der Untersuchung peruanischer Muscheltaucher Hinweise auf Innenohrschwerhörigkeit in Abhängigkeit von der Dauer der Taucherkarriere<sup>56</sup>. Eine Untersuchung über den Einfluss des Tauchens auf die Kognition „einheimischer Taucher“ liegt hingegen unseres Wissens bislang nicht vor.

Auch in Chile arbeiten sogenannte „*buzos mariscadores*“, also Muscheltaucher, unter schwierigen Bedingungen. Entsprechend einem Zeitungsbericht aus dem Jahr 2007 starb allein in der südchilenischen „*Región de los Lagos*“, in der die vorliegende Studie durchgeführt wurde, jeden Monat ein Taucher bei einem Tauchunfall<sup>91</sup>. In Anbetracht der hohen Tauchbelastung und der großen Zahl an Tauchunfällen kann man auch hier eine hohe Prävalenz chronischer Gesundheitsschäden unter den Muscheltauchern vermuten, wobei diese bislang nie in einer veröffentlichten Studie quantifiziert wurden. Speziell die Frage nach möglichen kognitiven Folgeschäden stellt eine relevante und spannende Frage dar. Zudem können beispielsweise Aufmerksamkeitsdefizite angesichts des anspruchsvollen und gefährlichen Arbeitsumfeldes unter Wasser Unfälle begünstigen und somit potentiell tödliche Folgen haben<sup>119</sup>. Gesetzliche Regelungen bezüglich der Ausbildung und des Tauchverhaltens der chilenischen Muscheltaucher existieren (Kapitel 3.1.1), werden jedoch häufig nicht eingehalten. Gerade die für ihre Tauchlizenz maximal erlaubte Tauchtiefe von 20 Metern<sup>32</sup> hat für viele der Muscheltaucher angesichts lohnender Sammelgründe in größeren Tiefen kaum praktische Bedeutung<sup>4, 90</sup>.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass ein genaues Verständnis der physiologischen und pathophysiologischen Prozesse, die mit dem Tauchen einhergehen, für Millionen von Menschen weltweit von großer Bedeutung ist. Gerade „einheimische Taucher“, die angesichts ihrer oft ungenügenden Ausrüstung und Ausbildung unter riskanteren Bedingungen tauchen als die Berufstaucher etwa in Europa, könnten gefährdet sein, langfristige Gesundheitsschäden zu erleiden.

## 1.2 Pathophysiologische Grundlagen des Tauchens

Der Mensch ist unter Wasser einer Reihe von potenziell gefährlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Neben den offensichtlichen Risiken, wie Hypothermie oder Tod durch Hypoxie bei fehlender Luftzufuhr, sind diese vor allem Folgen des mit zunehmender Tiefe linear ansteigenden Drucks. In 10 Meter Wassertiefe herrscht bereits der Umgebungsdruck von etwa zwei Erdatmosphären auf Meereshöhe, in 20 Metern Tiefe der dreifache Atmosphärendruck<sup>85, 133</sup>. Während sich das physikalische Verhalten von Feststoffen und Flüssigkeiten dadurch wenig verändert, gilt dies nicht für Gase. Sowohl Barotraumatismen als auch die Dekompressionserkrankung und die druckbedingte Toxizität von Stick- und Sauerstoff liegen hier begründet<sup>112</sup>. Entsprechend dem Gesetz von Boyle-Mariotte verhält sich das Volumen von Gasen umgekehrt proportional zum Umgebungsdruck<sup>138</sup>. Ein Lufteinschluss im Mittelohr beispielsweise, der aufgrund eines ödematösen Verschlusses der Tuba auditiva nicht entlastet werden kann, dehnt sich beim Auftauchen aus 40 Meter Tiefe auf das fünffache aus und kann zu einer Ruptur des Trommelfells führen. Solche Barotraumatismen stellen vor allem für Lunge, Mittelohr, Gastrointestinaltrakt und andere gasgefüllte Hohlräume des Körpers eine häufige Quelle von Verletzungen im Rahmen von Tauchunfällen dar<sup>65</sup>.

Eine zweite, weniger offensichtliche und im Detail auch weniger gut verstandene Ursache für tauchbedingte Gesundheitsschäden ist die Dekompressionserkrankung. Wie im Henry-Gesetz beschrieben, erhöht sich proportional zum Umgebungsdruck die Menge der in Blut und Geweben gelösten Atemgase, in erster Linie Stickstoff<sup>134</sup>. Diese Gase müssen während des Auftauchens aus den Geweben abtransportiert und über die Lunge abgeatmet werden, weswegen die Steiggeschwindigkeit während des Auftauchens nicht zu hoch sein darf. Abhängig von Tiefe und Dauer des Tauchgangs kann es notwendig sein, sogenannte Dekompressionsstopps in definierten Tiefen durchzuführen. Ob und wie lange ein solcher Stopp notwendig ist, lässt sich dabei aus sogenannten Dekompressionstabellen entnehmen, deren Benutzung daher jeder Taucher beherrschen sollte. Nichtsdestotrotz entstehen nach neueren Erkenntnissen vermutlich bei den meisten Tauchgängen im venösen Gefäßschenkel und in den Geweben Mikrobubbles von 0,03–2 Millimeter Durchmesser. Diese verursachen als sogenannte „*silent bubbles*“ (dt. „stille Blasen“) in aller Regel keine Symptome und werden problemlos pulmonal eliminiert<sup>66, 106, 111</sup>. Überschreitet die Bläschenentstehung allerdings ein gewisses Maß, können die Blasen lokal am Ort ihrer Entstehung im Gewebe oder nach Arterialisierung venöser Bläschen in verschiedenen Organsystemen symptomatisch in Erscheinung tre-

ten. Dies bezeichnet man als Dekompressionserkrankung (engl.: *decompression illness*, DCI<sup>II</sup>)<sup>85,134</sup>. Bei den embolischen Formen erfolgt der Übertritt ins arterielle System dabei über so genannte „arteriovenöse Shunts“, beispielsweise ein persistierendes Foramen ovale<sup>49, 85</sup>, wie es bei ca. 25% der Bevölkerung vorliegt<sup>67, 80</sup>. Im Rahmen pulmonaler Barotraumatata kann es zudem durch den Eintritt von Alveolarluft in die Lungenvenen ebenfalls zu Gasembolien kommen. Diese sind klinisch kaum von den intravasal entstandenen Embolien zu unterscheiden und werden identisch therapiert, weswegen man sie heute häufig mit unter den Begriff DCI subsummiert<sup>85, 134</sup>.

Auch wenn diese Klassifikation aus pathophysiologischer Perspektive zunehmend als artifiziell gilt<sup>49</sup>, wird die Dekompressionserkrankung klinisch häufig in einen leichteren Typ I und einen schwereren Typ II eingeteilt. Dabei werden für den Typ I Bläschen in der Haut, der Muskulatur, den Knochen oder in den Gelenken verantwortlich gemacht, für den Typ II solche in Gehirn, Rückenmark, Innenohr oder der Lunge<sup>50, 135</sup> (Abbildung 1). Symptomorientiert bezeichnet man diejenigen Formen der DCI Typ II, die das periphere oder zentrale Nervensystem betreffen, auch als „neurologische Dekompressionserkrankung“<sup>134</sup>.

**Abbildung 1: Klinik der Dekompressionserkrankung (*decompression illness*, DCI)<sup>89</sup>**

DCI Typ I	DCI Typ II
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelenk- und Muskelschmerzen</li> <li>• Hautschwellung und -rötung</li> <li>• Juckreiz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Müdigkeit</li> <li>• Kopfschmerzen</li> <li>• Schwindel, Übelkeit</li> <li>• Muskellähmung</li> <li>• Verlust des Seh- oder Hörvermögens</li> <li>• Gedächtnisverlust</li> <li>• Atemnot, Brustschmerz</li> <li>• Bewusstseinsverlust</li> <li>• Tod</li> </ul>

In fulminanten Fällen kann es durch einen embolischen Verschluss von Lungen- oder Koronararterien zu kardiopulmonalem Versagen und schließlich zum Tod kommen. Bei Vorliegen eines persistierenden Foramen ovale trägt ein erhöhter orthostatischer Druck im Lungenkreislauf durch Bläschen in den Lungengefäßen zudem zu einem verstärkten

<sup>II</sup> Wird im Folgenden synonym mit dem Begriff Dekompressionserkrankung verwendet.

Übertritt von Bläschen aus dem rechten in den linken Vorhof bei und kann daher mit embolischen Schlaganfällen einhergehen<sup>37, 142</sup>.

Ein Übertritt venöser Bläschen in den arteriellen Gefäßschenkel scheint generell auch bei asymptomatischen Tauchern deutlich häufiger zu sein, als noch vor einigen Jahren angenommen<sup>111</sup>. Lubkovic et al. (2011) fanden bei Ultraschalluntersuchungen an Tauchern nach 55 von 69 Tauchgängen mit konservativem Tauchprofil im rechten Herzen eine hohe Bläschendichte von mindestens einem Bläschen pro Quadratzentimeter. Obwohl sich nach immerhin 16% dieser Tauchgänge eine Arterialisierung der Gasbläschen nachweisen ließ, gab keiner der Taucher Symptome der Dekompressionserkrankung an<sup>68</sup>. Ob solche Stickstoffbläschen in Abwesenheit klinischer Symptome dennoch zu subtilen Gewebeschäden führen und die Akkumulation solcher subklinischer Ereignisse beispielsweise für neurologische Spätfolgen verantwortlich sein könnten ist umstritten, gilt aber als denkbar<sup>115</sup>.

### **1.3 Neurologisch-kognitive Langzeitschäden des Tauchens**

Generell stellt die Frage nach möglichen neurologisch-kognitiven Langzeitschäden des Tauchens ein in den letzten Jahrzehnten kontrovers diskutiertes Forschungsgebiet in der Tauchmedizin dar.

Durch Studien gut belegt ist, dass es in Fällen schwerer neurologischer Dekompressionserkrankung, vor allem großen Gasembolien, wie etwa nach pulmonalen Barotraumat, akut zur irreversiblen Schädigung von Nervengewebe und entsprechenden dauerhaften Einschränkungen kommen kann. Insbesondere bei Tauchern, die im Rahmen einer DCI unter akuten Paraplegien spinaler Ursache litten, beobachtet man häufig irreparable Defekte des Rückenmarks mit entsprechenden neurologischen Ausfällen. Auch zerebrale Folgeschäden motorischer, sensorischer und kognitiver Art kommen vor, wurden jedoch deutlich seltener beschrieben (Kapitel 1.4)<sup>36, 31</sup>.

Darüber hinaus konzentrierte sich die Forschung der vergangenen 20 Jahren vor allem auf die Frage, inwieweit langjähriges Tauchen ohne berichtete Episoden der Dekompressionserkrankung das Hirn schädigen kann<sup>31</sup>. Die Herausforderung hierbei ist, dass die der neurologischen Dekompressionserkrankung zugrunde liegenden Pathomecha-

nismen, beispielsweise die Arterialisierung von Gasbläschen<sup>68</sup>, häufig subklinisch und somit unbemerkt abzulaufen scheinen<sup>115</sup>.

### **1.3.1 Diskutierte Pathomechanismen für neurologisch-kognitive Langzeitschäden**

Neben der Dekompression - und damit der angesprochenen möglichen Akkumulation von teilweise subklinischen Episoden der Dekompressionserkrankung im Verlauf der Taucherkarriere - gibt es auch Hinweise auf neurotoxische Effekte der Kompression, also direkte Effekte des hohen Wasserdrucks<sup>31</sup>.

#### ***1.3.1.1 Nervenzelluntergang durch Dekompression***

Gasbläschen, wie sie im Rahmen der Dekompression nach Tauchgängen häufig auftreten, können prinzipiell entweder embolisch in das zentrale Nervensystem eingeschwemmt werden oder im Nervengewebe selbst entstehen. In Bezug darauf, welcher Effekt speziell in Hinblick auf langfristige Schäden im Vordergrund steht, gibt es Hinweise, die auf verschiedene Mechanismen hindeuten<sup>10, 134</sup>.

Für einen bedeutenden Einfluss der Bläschenentstehung im Gewebe spricht die Verteilung hyperintenser MRT-Läsionen, die mehrere Studien bei langjährigen Tauchern nachweisen konnten (Kapitel 1.3.2.1). Dabei fanden sich vor allem Schäden in der weißen Substanz, die denjenigen ähnelten, die man bei Patienten mit Multipler Sklerose findet. Dies weist auf einen nicht-vaskulären Ursprung der Schädigung hin<sup>9</sup>. Der Abtransport gelöster Gase aus der vergleichsweise schlecht vaskularisierten und lipidreichen weißen Substanz dauert länger als aus anderen Geweben, was die Bläschenbildung begünstigen könnte. In der Folge kann eine vermutlich primär mechanische Schädigung der dort befindlichen Axone zum Absterben der Nervenzellkörper und einem dauerhaften Schaden führen<sup>31</sup>.

Andererseits lieferte eine Studie von Moen et al. (2010), die sich der Bildgebung mittels perfusions-gewichteter MRT bediente, bei Berufstauchern, die überwiegend keine DCI erlebt hatten, Hinweise auf Veränderungen der zerebralen Mikrovaskularisation in Form anormaler Kapillardurchblutung<sup>79</sup>. Diese Beobachtung wird durch histopathologische Untersuchungen gestützt, die bei Tauchern auffällig viele Hirngefäßveränderungen wie Hyalinisierung<sup>93</sup> und Kalziumeinlagerungen<sup>116</sup> gefunden hatten. Ein möglicher Mechanismus der zu solchen Veränderungen führen könnte, ist die Akkumulation von Schä-

den durch Mikroembolien<sup>79</sup>. Die Obstruktion des Gefäßes führt dabei zum einen direkt zu einer hypoxischen Gewebeschädigung, zum anderen zu einer mechanischen Aktivierung des Endothels, welche proinflammatorische und prothrombotische Reaktionen in Gang setzt<sup>42, 132</sup>. In diesem Zusammenhang scheint die Aktivierung neutrophiler Granulozyten und die Ausschüttung reaktiver Sauerstoffspezies eine wichtige Rolle zu spielen<sup>76</sup>. Die resultierende Störung der Blut-Hirn-Schranke im Versorgungsgebiet des Gefäßes führt zur Ausbildung eines perifokalen Ödems und somit weiteren Gewebeschäden<sup>23, 124</sup>. Brubakk et al. (2005) konnten die Erhöhung eines Markers, der auf eine derartige Endotheldysfunktion hinweist, auch nach solchen Tauchgängen nachweisen, bei denen die Taucher keinerlei DCI-Beschwerden angaben<sup>22</sup>.

### ***1.3.1.2 Nervenzelluntergang durch Kompression***

Die direkten Auswirkungen des Drucks auf physiologische Prozesse im menschlichen Körper sind noch nicht gänzlich verstanden. Klar ist, dass der Wasserdruck ab ca. 120 Meter Tiefe Einfluss auf Neurone und Synapsen nimmt<sup>66, 31</sup>. Im Rahmen des sogenannten „*High Pressure Neurological Syndrome*“ (dt. „Neurologisches Syndrom durch hohen Druck“) kommt es durch Erhöhung der Empfindlichkeit glutamaterger NMDA-Rezeptoren und Hemmung inhibitorischer Glycin-Rezeptoren zu einer allgemeinen Hyperexzitabilität des Gehirns<sup>31</sup>. Diese kann sich in Form von Tremor und Muskelkrämpfen äußern<sup>66, 126</sup>. Eine Induktion von Nervenzell-Nekrosen und somit langfristig neurologischen Schäden gilt als denkbar<sup>31</sup>. Derartige Tauchtiefen werden jedoch von der überwiegenden Zahl der Taucher nicht erreicht, weshalb dieser Mechanismus für die Breite der Berufs- und Sporttaucher von minderer Bedeutung ist.

Relevant hingegen sind gastoxische Effekte. Die bei Normaldruck ungiftigen Atemgase Stickstoff und Sauerstoff können unter erhöhtem Umgebungsdruck toxisch wirken. So kommt es ab Tiefen von ca. 30 Metern in interindividuell unterschiedlichem Ausmaß zur sogenannten Stickstoff-Narkose, die man auch als „Tiefenrausch“ bezeichnet. Symptome sind unter anderem Euphorie, Desorientierung und allgemeine Einschränkung der kognitiven Leistungsfähigkeit<sup>65</sup>. Entsprechend dem scherzhaft so genannten Martini-Gesetz nimmt die Wirkung, die der von Alkohol nicht unähnlich ist, dabei alle 15 Meter Wassertiefe um den Effekt eines Glases des bekannten Cocktails zu<sup>53</sup>. Beim Auftauchen bilden sich die Symptome ohne offensichtliche Residuen zurück<sup>65</sup>. Der der Stickstoff-Narkose zugrunde liegende Mechanismus ist bislang nicht zur Gänze bekannt, doch scheint die Aktivierung inhibitorischer GABA-Rezeptoren eine wichtige

Rolle zu spielen<sup>105</sup>. Da Studien zeigen, dass eine wiederholte GABA-Rezeptor-Stimulation nachweislich die Plastizität des Gehirns beeinflusst, also zu funktionellen Anpassungen führt, kann spekuliert werden<sup>53</sup>, ob dieser Effekt<sup>83</sup> langfristig auch bei Tauchern einer Veränderung der Hirnfunktion nach sich zieht<sup>53</sup>. An Ratten konnte eine neurotoxische Wirkung wiederholter Exposition gegenüber der Stickstoff-Narkose bereits gezeigt werden<sup>64</sup>.

Die Frage, ob in erster Linie intra- oder extravasale Bläschenbildung bei der Dekompression oder auch Effekte der Kompression zu langfristigen neurologisch-kognitiven Schäden führen, ist derzeit unbeantwortet<sup>31</sup>. Insgesamt wurden bis heute eine Reihe von Mechanismen gezeigt, die beim Tauchen zu einem dauerhaften Verlust von Nervenzellen führen könnten. Mag dieser akut asymptomatisch bleiben, könnte aufgrund der fehlenden Regenerationsfähigkeit der Neuronen die „Akkumulation eines solchen Schadens langfristig [...] ausreichen, um zu einem neurologischen Defizit zu führen. Die Frage ist, ob es Hinweise auf solche Effekte gibt.“<sup>III</sup>.

### **1.3.2 Forschungsstand zu Ausmaß und Risikofaktoren**

Erscheint ein langfristiger neurotoxischer Effekt des Tauchens somit als pathophysiologisch möglich, so kamen Studien, die einen solchen Einfluss epidemiologisch untersuchen und Risikofaktoren identifizieren wollten, zu uneinheitlichen Ergebnissen. Methodisch bediente man sich zur Untersuchung zum einen der Bildgebung, vor allem der Magnetresonanztomographie (MRT) und Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie (SPECT)<sup>117</sup> und zum anderen psychometrischer Tests<sup>31</sup>.

#### ***1.3.2.1 Studien zu morphologischen Veränderungen in der Bildgebung***

Reul et al. (1995) zeigten mittels MRT beim Vergleich von 52 Sporttauchern mit 50 Kontrollen bei 54% vs. 20% Prävalenz eine signifikant erhöhte Anzahl hyperintenser subkortikaler Läsionen der weißen Hirnsubstanz<sup>102</sup>. Auch 113 asymptomatische Militärtäucher, die Erdem et al. (2009) einer Kontrollgruppe von 65 Nicht-Tauchern gegenüberstellten, wiesen mit 23% vs. 11% signifikant mehr Läsionen auf<sup>38</sup>. Demgegenüber fanden Hutzelmann et al. (2000) keine signifikanten morphologischen Unterschiede zwischen 59 erfahrenen Tauchern und 48 Kontrollpersonen<sup>58</sup>.

---

<sup>III</sup> “An accumulation of such damage over time and with repeated exposure to pressure might be sufficient to give rise to symptoms of neurological deficit. The question is whether there is any evidence for such effects.” (Daniels, 2009, S.141)<sup>31</sup>

Untersuchungen von Knauth et al. (1997) beziehungsweise Tripodi et al. (2004) konnten auf der Suche nach Risikofaktoren für solche strukturellen Veränderungen zum einen eine Assoziation mit einer schnellen Auftauchgeschwindigkeit der Taucher<sup>128</sup> und zum anderen mit dem Vorhandensein eines großen persistierenden Foramen ovale nachweisen<sup>61</sup>. Dies deutet auf paradoxe Embolien ungenügend abgeatmeter Atemgase als Ursache der Läsionen hin. Da in der Studie von Knauth et al. keiner der untersuchten Taucher über Typ II DCI in der Vorgeschichte berichtete, schlossen die Autoren auf einen subklinischen Pathomechanismus<sup>61</sup>.

Den Einfluss leichter Episoden der Dekompressionserkrankung und inwiefern die in der Bildgebung nachzuweisenden morphologischen Veränderungen tatsächlich von funktioneller Relevanz sind untersuchten Tetzlaff et al. (1999). Ihre Studie schloss 20 erfahrene ältere Taucher, von denen 8 auch mindestens eine Episode leichterer Dekompressionserkrankung erlebt hatten, und 20 nicht-tauchende Kontrollen ein. Durchgeführt wurden neben einer MRT-Untersuchung auch drei psychometrische Tests. Auch hier zeigte sich mit 60% vs. 45% eine erhöhte Prävalenz hyperintenser Läsionen bei den Tauchern. Auch schnitten sie in zwei der drei Tests signifikant schlechter ab als die Kontrollen. Vor allem die Tauchjahre und tiefe Tauchbereiche von 40-60 Metern stellten einen Risikofaktor für morphologische sowie für funktionelle Anomalitäten dar. Zudem wiesen diejenigen Taucher mit Episoden der Dekompressionserkrankung signifikant mehr hyperintense Läsionen auf (87,5% vs. 41,6%). Es bestand jedoch keine signifikante Assoziation zwischen morphologischen Schäden und schlechterem Abschneiden in den Tests<sup>123</sup>. Auch Cordes et al. (2000) stellten bei 24 Militäртаuchern keinen Zusammenhang zwischen Läsionen im MRT und dem Abschneiden in der Psychometrie fest<sup>29</sup>.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine Reihe von Studien morphologische Hirnveränderungen bei asymptomatischen Tauchern mit und ohne eine Vorgeschichte von Dekompressionserkrankung zeigen konnte. Der Krankheitswert dieser Veränderungen ist allerdings fraglich<sup>53</sup>.

#### ***1.3.2.2 Studien mit primär Fragebogen-basiertem oder psychometrischem Ansatz***

Studien, die mögliche kognitiv-funktionelle Defizite bei Tauchern mittels psychometrischer Leistungstests und Fragebögen untersuchten, kamen zu uneinheitlichen Ergebnissen<sup>31</sup>.



Die „*Geneva memory study*“ von Slosman et al. (2004) untersuchte 215 gesunde Freizeit-Taucher ohne Vorgeschichte von DCI mittels psychometrischen Testungen und SPECT zur Bestimmung des zerebralen Blutflusses. Man stellte fest, dass nur Tauchen in mehr als 40 Meter Tiefe und in kaltem Seewasser sowie mehr als 100 Tauchgänge pro Jahr negativ mit den verschiedenen Komponenten der kognitiven Leistungsfähigkeit assoziiert waren<sup>117</sup>.

Im Bereich des professionellen Tauchens wurden im Rahmen der großangelegten ELTHI-Tauchstudie (Macdiarmed et al. 2004) 1540 Berufstaucher der Öl- und Gas-industrie der Nordsee, die ihre Karriere vor 1991 begonnen hatten, und als nichttauchende Vergleichsgruppe 1035 Offshore-Arbeiter mithilfe von Fragebögen untersucht. Es zeigte sich, dass die Taucher signifikant häufiger „Vergesslichkeit und Konzentrationschwäche“ angaben<sup>70</sup>. Eine Fall Kontroll-Studie von Taylor et al. (2006) identifizierte in psychometrischen Testungen bei betroffenen Tauchern in der Tat geringgradige Defizite bezüglich des Wortgedächtnis, der gegenwärtigen Intelligenz und der Aufmerksamkeitsaufrechterhaltung im Vergleich zu Nichttauchern und solchen Tauchern, die keine derartigen Beschwerden angegeben hatten. Diese Einschränkungen waren jedoch ausschließlich mit speziellen Tauchtechniken assoziiert, wie sie im industriellen Tauchbetrieb der Offshore-Industrie Anwendung finden, etwa Tauchen mit Mischgasen und Sättigungstauchen. In dieser Studie zeigte sich insgesamt kein spezifischer Einfluss von Episoden der Dekompressionserkrankung auf die objektive kognitive Leistungsfähigkeit<sup>122</sup>.

Während Kowalski et al. (2011) mittels psychometrischen Testungen bei 25 Militärtauchern eine verlängerte motorische Reaktionszeit gegenüber der nichttauchenden Kontrollgruppe feststellten<sup>62</sup>, berichtete eine von Hemelryck et al. (2014) veröffentlichte Untersuchung, die Reaktionszeit der von ihnen untersuchten 44 Freizeittaucher sei sogar schneller und stabiler als die der nichttauchenden Kontrollgruppe gewesen. Lediglich eine leichte Einschränkung im Bereich des Kurzzeitgedächtnisses habe sich nachweisen lassen. Insgesamt schlossen Hemelryck et al., keine Hinweise auf generelle kognitive Defizite gefunden zu haben<sup>53</sup>. Auch Bast-Pettersen et al. (2015) fanden, bei den von ihnen im Rahmen einer longitudinalen Studie über zwölf Jahre hinweg untersuchten 37 Berufstauchern keinen Anhalt für eine Schädigung höherer kognitiver Funktionen in Abhängigkeit von der Anzahl der Tauchgänge. Bei solchen Tauchern, die mindestens eine Episode der Dekompressionserkrankung erlitten hatten, zeigte sich eine schlechtere

Gedächtnisleistung, jedoch eine schnellere Reaktionszeit gegenüber den Tauchern ohne DCI-Episode<sup>12</sup>.

Die nachfolgende Tabelle (Tabelle 2) stellt die genannten Studien, die sich psychometrischer Leistungstests und Fragebögen bedienten, im Überblick dar.

**Tabelle 2: Überblickstabelle zu epidemiologischen Studien, die mögliche neurokognitive Folgeschäden des Tauchens mittels neuropsychometrischen oder Fragebogen-basierten Methoden untersuchten**

Studie	Taucher / Vergleichsgruppe	Untersuchungsmethode	Ergebnis
<b>Tetzlaff et al. 1999<sup>123</sup> (Deutschland)</b>	20 Berufstaucher	MRT und psychometrische Testung	40-60 Meter mit geringerer kognitiver Leistungsfähigkeit und größerer Anzahl hyperintenser Läsionen im MRT assoziiert
<b>Slosman et al. 2004<sup>117</sup> (Schweiz)</b>	215 Freizeittaucher	CBF in SPECT* und psychometrische Testung	>40 Meter, >110 Tauchgänge pro Jahr und kaltes Wasser mit geringerer kognitiver Leistungsfähigkeit assoziiert
<b>Macdiarmed et al. 2004<sup>70</sup> (Großbritannien)</b>	1540 Berufstaucher / 1035 Offshore-Arbeiter	Fragebogen	Taucher gaben statistisch signifikant häufiger „Vergesslichkeit und Konzentrationsschwäche“ an
<b>Taylor et al. 2006<sup>122</sup> (Großbritannien)</b>	104 Taucher Berufstaucher mit Beschwerden** / 100 Taucher ohne Beschwerden / 100 Nichttaucher ohne Beschwerden	Psychometrische Testung	Ausschließlich Tauchen unter Nutzung spezieller professioneller Tauchtechniken mit leichter Einschränkung des Gedächtnisses assoziiert
<b>Kowalski et al. 2011<sup>62</sup> (Deutschland)</b>	25 Militäртаucher / 23 Nichttaucher	Psychometrische Testung	Verlängerte motorische Reaktionszeit bei den Tauchern
<b>Hemelryck et al. 2014<sup>53</sup> (Belgien)</b>	44 Freizeittaucher / 24 Berufsboxer / 37 Nichttaucher	Psychometrische Testung	Leichte Defizite des Kurzzeitgedächtnisses; Keine Hinweise auf generelle kognitive Defizite bei den Tauchern
<b>Bast-Pettersen et al. 2015<sup>12</sup> (Norwegen)</b>	27 Berufstaucher ohne DCI***-Episode/ 10 Berufstaucher mit DCI***-Episode	Psychometrische Testung, Fragebogen	Kein Hinweis auf Schädigung der kognitiven Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Tauchgänge. Schlechtere Gedächtnisleistung, aber schnellere Reaktionszeit bei Tauchern mit DCI***-Episode

\* *Cerebral blood flow in Single-photon emission computed tomography* (Zerebraler Blutfluss in Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie)

\*\*Solche Taucher, die „Vergesslichkeit und Konzentrationsschwäche“ in der Untersuchung von Macdiarmed et al. (2004) angegeben hatten

\*\*\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung)

Der Tauchmediziner Stephen Daniels fasste den Forschungsstand im Rahmen eines Symposiums 2009 dahingehend zusammen, dass „die Evidenz dafür, dass Tauchen [in Abwesenheit schwerer Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II] langfristigen neurologischen Schaden anrichtet [...] sehr schwach“<sup>IV</sup> sei. Er regte weitere Studien zur Untersuchung möglicher Effekte an. Gleiches forderte auch die Neuropsychologin Ann Shuttleworth-Edwards in einem Kommentar für das „*South African Journal of Sports Medicine*“ (2012) angesichts der in der Forschung „wachsende[n] Gewichtung der Tatsache, dass Taucher unter subtilen Symptomen leiden mögen, die sie nicht als DCI erkennen oder unter subklinischen Effekten wiederholter ‚stiller‘ paradoxer Gasembolien, die langfristig schädliche neurologische Folgen haben mögen“<sup>V</sup>.

Wie aus Tabelle 2 zudem ersichtlich ist, wurden die bisherigen Studien in erster Linie bei Tauchern in Industriestaaten durchgeführt. Angesichts der weltweit großen Zahl „einheimischer Taucher“ und der hohen Prävalenz anderer tauchbedingter Gesundheitsschäden unter ihnen (Kapitel 1.1), erscheint eine Untersuchung in dieser Gruppe sinnvoll.

#### **1.4 Therapie und Prävention der akuten Dekompressionserkrankung und kognitiver Langzeitschäden des Tauchens**

Die kausale Therapie der akuten Dekompressionserkrankung stützt sich in erster Linie auf die Behandlung mit 100-prozentigem Sauerstoff und die Rekompensation des Körpers in einer Druckkammer. Dabei sollte die Sauerstofftherapie möglichst unmittelbar nach Auftreten der Symptome begonnen werden. Die so erreichte Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks im Blut beschleunigt die Elimination der schädlichen Gasbläschen, reduziert die ischämische Gewebeschädigung bei embolischen Gefäßverschlüssen und vermindert vasale Entzündungsreaktionen und perivasale Ödembildung, etwa durch eine Inhibition der Neutrophilenadhäsion<sup>66, 134</sup>. Die Rekompensation in einer Druckkammer wird unter Fortsetzung der O<sub>2</sub>-Therapie nach einem verbreiteten Schema beispielsweise mit bis zu 2,8 Bar für zunächst 5 Stunden durchgeführt<sup>66,134</sup>. Der erhöhte

---

IV „In summary, the evidence that diving causes long-term neurological damage is very weak.“ (Daniels, 2009, S.140)<sup>31</sup>

V “[...] there is growing emphasis on the fact that divers may be suffering subtle symptoms that they do not recognize as DCI, and/or be suffering subclinical effects of repetitive ‘silent’ paradoxical gas embolisms that may have long-term deleterious neurological consequences.“ (Shuttleworth-Edwards, SAJSM 2012, S.27)<sup>115</sup>

Umgebungsdruck steigert die Löslichkeit der Bläschen in Gewebe und Gefäßen und ermöglicht ihre pulmonale Elimination. Haben sich die Symptome unter einmaliger Behandlung zurückgebildet, so ist keine weitere Kompressionstherapie notwendig. Ist dies nicht der Fall, so sollte sie auf täglicher Basis fortgeführt werden bis eine vollständige Heilung eingetreten ist oder sich keine weitere Verbesserung der Symptomatik mehr erreichen lässt<sup>81</sup>. Führt dieses Therapiekonzept bei der Mehrheit der Betroffenen zur vollständigen Rückbildung der Symptomatik, so bleiben bei einigen Patienten vor allem nach schweren Episoden der Dekompressionserkrankung doch Folgeschäden zurück. Eine Untersuchung von Gempp et al. (2010), die das *Outcome* von 63 Tauchern mit neurologischer DCI untersuchte, zeigte, dass sich die initialen Symptome nach einem Monat bei 33% der Betroffenen nicht vollständig zurückgebildet hatten, wobei es sich vor allem um sensorische und motorische Einschränkungen handelte<sup>43</sup>. Eine schottische Studie stellte bei 26% der 279 Teilnehmer persistierende neurologische Beschwerden fest<sup>103</sup>. Einige weitere Studien berichteten von dauerhaften kognitiven Einschränkungen nach DCI Ereignissen, etwa Defiziten bezüglich des Kurzzeitgedächtnisses<sup>114</sup> oder Persönlichkeitsveränderungen<sup>36, 121</sup>.

Können kognitive Folgeschäden also schon bei leitliniengerechter Therapie symptomatischer Dekompressionserkrankung nicht sicher vermieden werden, so scheint die Therapie möglicher langfristiger kognitiver Schäden in Abwesenheit apparenter Tauchunfälle umso weniger möglich. Unter der Annahme, es handele sich um eine Akkumulation subklinischer Ereignisse, kann man davon ausgehen, dass die pathophysiologischen Prozesse zum Zeitpunkt des Auftretens von Symptomen bereits vielfach abgeschlossen, Nervengewebe also bereits irreversibel untergegangen ist<sup>31</sup>. Um dezente Einschränkungen zu erkennen bevor sie ein Ausmaß erreichen, das dem Betroffenen merkliche Beschwerden bereitet, existieren Forderungen nach routinemäßiger neuropsychologischer Testung von Tauchern im Rahmen der Untersuchungen zur Tauchtauglichkeit<sup>115</sup>. Die Hoffnung besteht darin, eine derartige Entwicklung, die dem Taucher selbst vielleicht zunächst nicht auffällt, frühzeitig nachzuweisen und durch eine Tauchkarenz oder Veränderung des Tauchverhaltens eindämmen zu können. Bislang allerdings sind keine Pläne bekannt, solche Untersuchungen tatsächlich verpflichtend einzuführen<sup>115</sup>. Liegen bereits Beschwerden vor, so sind je nach Ausmaß und Ausprägung in erster Linie nur noch symptomatische Maßnahmen denkbar, wie sie auch bei leichter kognitiver Einschränkung anderer Ätiologie, zum Beispiel posttraumatisch, zur Anwendung kommen.

Dazu zählen etwa Aufmerksamkeitstraining oder das Vermitteln von Kompensationsstrategien bei Gedächtnisproblemen<sup>143</sup>.

Insgesamt muss der Fokus daher auf der Prävention kognitiver Folgeschäden des Tauchens liegen. Neben einem genaueren Verständnis der Pathomechanismen kommt der Identifikation von Risikofaktoren somit eine besondere Bedeutung zu. Gerade die weltweit zehntausenden „einheimischen Taucher“, wie die in der vorliegenden Studie untersuchten chilenischen Muscheltaucher, könnten angesichts ihrer oft ungenügenden Ausbildung und Ausrüstung besonders betroffen sein. Zu ihrem Schutz ist es wichtig zu wissen, ob beziehungsweise in welchem Ausmaß sie gefährdet sind und welche präventiven Interventionen beispielsweise im Bereich des Arbeitsschutzes das Risiko für sie verringern könnten.

## 2 Zielsetzung

Inwiefern und in welchem Ausmaß Kompression und Dekompression im Verlauf einer Taucherkarriere zu kognitiven Einschränkungen führen können, ist bislang nicht gänzlich verstanden. Können nach schweren Episoden der Dekompressionserkrankung anerkanntermaßen Folgeschäden zurückbleiben, so mehren sich in den vergangenen Jahren auch Hinweise auf mögliche subklinische Akkumulationseffekte, ohne dass derzeit gesicherte Evidenz bestünde. Bislang veröffentlichte Studien kamen zu uneinheitlichen Resultaten. Weltweit arbeiten zehntausende „einheimische Taucher“, beispielsweise Muscheltaucher, unter oft schlechten Sicherheitsbedingungen. Die wenigen vorliegenden Studien aus Südamerika und Asien beschrieben bei ihnen eine hohe Inzidenz der Dekompressionserkrankung und Hinweise auf eine hohe Prävalenz von Folgeschäden des Tauchens. Eine wissenschaftliche Untersuchung möglicher kognitiver Defizite bei solchen Tauchern wurde bislang nicht durchgeführt.

Ziel der vorliegenden Studie war es daher, im Rahmen einer Querschnittsuntersuchung anhand ihrer Aufmerksamkeitsleistung mögliche kognitive Defizite chilenischer Muscheltaucher in Abhängigkeit von Taucherfahrung, Tauchverhalten und Episoden der Dekompressionserkrankung zu untersuchen. Die Studienpopulation bestand aus Muscheltauchern, die in dem Dorf Carelmapu im Süden Chiles tätig waren.

Die Exposition und sonstige Risikofaktoren sollten anhand eines Fragebogens erfasst werden. Zur Quantifizierung der Leistungsfähigkeit bezüglich Aufmerksamkeit und Konzentration sollte eine psychometrische Testung (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2) durchgeführt werden.

Die Resultate der Studie können einen Beitrag in der Debatte um mögliche kognitive Langzeitschäden des Tauchens leisten und somit einen Erkenntnisgewinn für das pathophysiologische Modell der Tauchmedizin darstellen. Zum anderen können sie Hinweise liefern, ob und in welcher Form vor Ort Interventionen umgesetzt werden sollten, um die Muscheltaucher vor möglichen Hirnschäden zu schützen. Die Tatsache, dass weltweit mehrere zehntausend Menschen unter ähnlichen Bedingungen arbeiten, verleiht diesem Thema eine globale Bedeutung.

## 3 Methoden und Material

### 3.1 Untersuchungskollektiv

#### 3.1.1 Der Studienort und die lokalen Tauchbedingungen

Die Studie wurde von November 2012 bis Februar 2013 im Dorf Carelmapu in der „*Región de los Lagos*“ im Süden Chiles durchgeführt (Abbildung 2). Von den annähernd 4000<sup>59</sup> Bewohnern des Ortes arbeiten etwa 400 Männer zumeist auf selbstständiger Basis als sogenannte „*buzos mariscadores*“, also Meeresfrüchte- und Muscheltaucher.

Ihren Lebensunterhalt verdienen sie durch das Sammeln und den Verkauf von Meeresfrüchten vom Grund des Pazifiks. Für die endemischen Loco-Schnecken etwa werden hohe Preise bezahlt, was die Arbeit trotz widriger und gefährlicher Arbeitsbedingungen attraktiv macht<sup>28</sup> und in den vergangenen 100 Jahren zum Zuzug von Menschen aus dem Landesinneren nach Carelmapu geführt hat.

Darüber hinaus ist eine unbekannte Zahl der Bewohner als Wartungstaucher in den Aquakulturen der Region beschäftigt, in denen vor allem Lachszucht betrieben wird<sup>17</sup>. Diese leben den größten Teil des Jahres außerhalb des Dorfes.

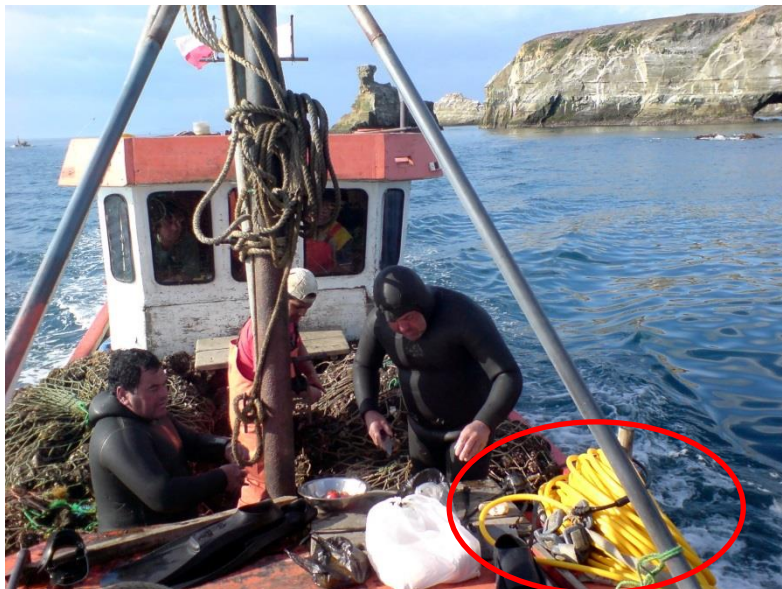
Abbildung 2: Geographische Lage Carelmapus nach <http://www.openstreetmap.de/><sup>1</sup>



Die Taucher bedienen sich der sogenannten „*hookah*“-Technik. Im Unterschied zu Sporttauchern, welche Druckluft in Tauchflaschen mit sich führen, erfolgt die Sauerstoffversorgung hierbei von der Oberfläche aus. Ein auf dem Boot befindlicher Kompressor pumpt die Luft zunächst in einen Druckbehälter, von wo aus sie über lange Schläuche hinab zu den Tauchern geleitet wird (Abbildung 3 und 4). Diese atmen die Druckluft über ventil-modulierte Mundstücke<sup>32</sup>. Diese Methode ermöglicht deutlich längere Arbeitszeiten unter Wasser, da sie nicht durch die Kapazität eines Druckbehälters begrenzt sind. Die Taucher bleiben so teilweise fünf Stunden und mehr unter Was-

ser, was lange Dekompressionszeiten erfordert. Dauer und Tiefe der Tauchgänge variieren dabei je nach Spezialisierung der Taucher auf bestimmte Meeresfrüchte.

**Abbildung 3: Zwei Muscheltaucher nach dem Tauchgang. Rechts unten im Bild: „hookah“-Ausrüstung mit Schlauch und Mundstück (rote Markierung) (Quelle: eigene Aufnahme)**



unfällen, wobei ein Muscheltaucher verstarb<sup>71</sup>. Funktionsfehler des Kompressors, Ansaugen von Abgasen des Schiffsmotors als Atemluft, zufällige Entstehung von Knoten im Schlauch und auch dessen Beschädigung durch Felsen, Korallen oder Meeresbewohner, etwa Seelöwen, stellen häufig Ursachen für Unglücke dar. Werden die Taucher, in deren Geweben nach Stunden unter Wasser abhängig von der Tauchtiefe mehrere Liter Stickstoff gelöst sein können<sup>2</sup>, durch solche Vorkommnisse zum sofortigen Auftauchen ohne Dekompressionsstopp gezwungen, so können Barotraumata und schwere Episoden der Dekompressionserkrankung zu massiven Schäden bis hin zum Tod führen<sup>34, 35</sup>. Erschwerend kommt hinzu, dass die gesetzlich vorgeschriebene Ausrüstung zur Akuttherapie in Form der Applikation 100%-prozentigen Sauerstoffes auf kaum einem der Taucherboote tatsächlich vorhanden ist. Einer frühzeitigen Inhalation von Sauerstoff kommt bei der Therapie akuter DCI-Ereignisse eine prognostisch bedeutsame Rolle zu<sup>69</sup>.

Die überwiegende Anzahl der Muscheltaucher Carelmapus verfügt über die am einfachsten zu erwerbende Berufstaucherlizenz in Chile, den „*buzo mariscador básico*“, („einfacher Muscheltaucher“). Zum Erwerb dieser Lizenz ist ein 25-stündiger Kurs zu absolvieren und eine praktische wie theoretische Prüfung abzulegen. Obwohl auch der Umgang mit den Dekompressionstabellen einen wichtigen Teil des verpflichtenden Tauchkurses darstellt, beherrschen viele Muscheltaucher ihn nur ungenügend. Die meis-

Die Abhängigkeit von den Konditionen an der Oberfläche und der Unversehrtheit des Schlauches bedingt eine hohe Rate an Unfällen<sup>91</sup>. Allein in den ersten 10 Monaten des Jahres 2012, also unmittelbar vor Beginn der Datenerfassung für die vorliegende Studie, kam es in Carelmapu zu acht schweren Tauch-



ten orientieren sich bezüglich Tiefe und Dauer der Dekompressionsstopps vielmehr an persönlichen Erfahrungswerten. Für Taucher der Lizenzklasse „einfacher Muscheltaucher“ ist eine maximale Tauchtiefe von 20 Metern gesetzlich vorgeschrieben. Sie sind verpflichtet, während der Tauchgänge einen Tiefenmesser mit sich zu führen<sup>32</sup>. Nach Schätzung von Funktionären der Fischereigewerkschaften wird letzteres aber nur von etwa der Hälfte von ihnen eingehalten. In aller Regel arbeiten die Muscheltaucher von jeher an bestimmten Tauchgründen, deren ungefähre Wassertiefe ihnen bekannt ist. Vor den Tauchgängen bestimmen sie zudem mittels der Ankerleine genauer die Tiefe des Meeresbodens, wo sie den Großteil ihrer Arbeit verrichten. Unter Wasser orientieren sich die Taucher anhand von Markierungen, welche in regelmäßigen Abständen an der Leine angebracht sind.

Um in größeren Tiefen bis 36 Meter arbeiten zu dürfen, ist ein Kurs zum Erlangen der Tauchlizenz „mittlerer Muscheltaucher“ und eine deutlich aufwändigere Ausrüstung notwendig, unter anderem eine leistungsfähigere „hookah“-Anlage, ein über einen Schlauch mit der Oberfläche verbundenes Pneumofathometer, das die momentane Tiefe des Tauchers anzeigt, sowie ein Kommunikationssystem, das es dem Taucher erlaubt, über ein Kabel verbal mit der Oberflächenbesatzung in Kontakt zu treten. Für Tauchgänge bis 56 Meter ist eine Lizenz als „Berufstaucher“ und eine Druckkammer innerhalb von 500 Metern vom Ort des Tauchgangs vorgeschrieben<sup>32</sup>. Taucher mit solchen fortgeschrittenen Tauchlizenzen und die für Tauchgänge tiefer als 20 Meter vorgeschriebenen technischen Systeme kommen in Chile vor allem in den Aquakulturen zum Einsatz. Nach Angaben der Hafenverwaltung Carelmapu verfügt keines der Taucherboote des Dorfes über die oben genannte Ausrüstung, so dass für alle dortigen Taucher eine maximale Tauchtiefe von 20 Metern einzuhalten ist.

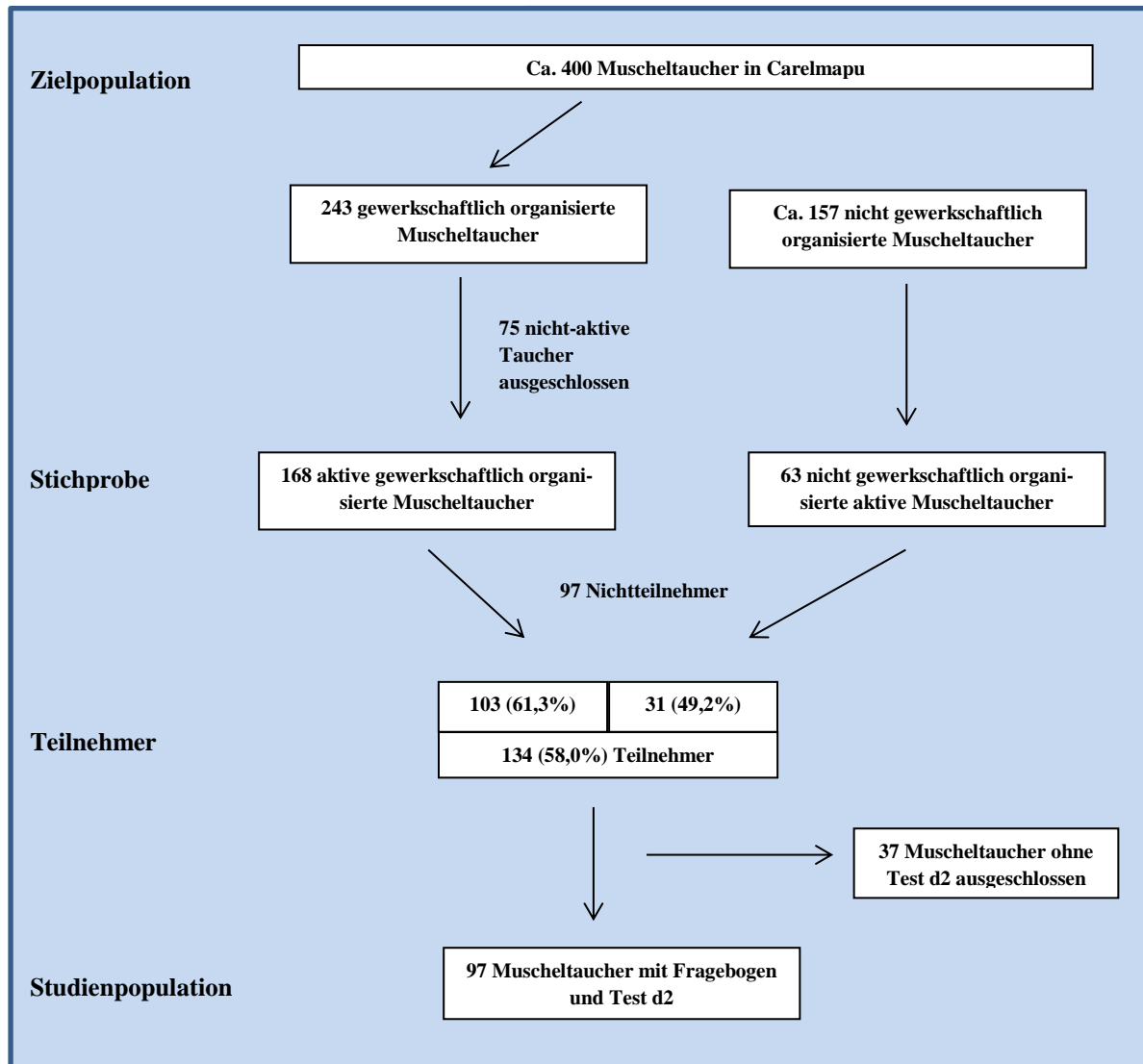
**Abbildung 4: Taucherboot vor Carelmapu. Das vom Taucher mit Meeresfrüchten gefüllte Netz wird ins Boot gehoben. Im hinteren Teil des Bootes sind der Luftkompressor, Druckbehälter und Schläuche der „hookah“-Ausrüstung zu erkennen (rote Markierung). (Quelle: Eigene Aufnahme)**



### 3.1.2 Zusammensetzung der Studienpopulation

Die Zielpopulation der Studie waren alle männlichen aktiven Muscheltaucher in Carelmapu, Chile (Abbildung 5). Die Beschränkung auf Männer war dadurch gegeben, dass nach Angaben der Hafenbehörde alle Taucher des Ortes Männer sind.

Abbildung 5: Auswahl der Studienpopulation



Da kein vollständiges Register der im Ort arbeitenden Muscheltaucher existiert, beschränkten wir uns zunächst auf diejenigen, die in den örtlichen Fischereigewerkschaften organisiert waren.

In den Gewerkschaftslisten konnten 243 Muscheltaucher identifiziert werden. Von ihnen mussten nach Absprache mit der Hafenbehörde Carelmapus, welche die Ausfahrten der Taucher registriert, 75 ausgeschlossen werden, da sie zum Zeitpunkt der Studie bereits entweder verstorben oder derzeit nicht als Taucher im Dorf tätig waren.

Es ergab sich somit eine Zahl von 168 aktiven Muscheltauchern, welche im Zeitraum November 2012 bis Februar 2013 persönlich an ihrem Wohnort zur Teilnahme an der Studie eingeladen wurden. Von diesen nahmen 103 an der Studie teil (Teilnahmequote 61,3%).

Um die Repräsentativität der Studienpopulation zu gewährleisten, wurden im Verlauf auch nicht gewerkschaftlich organisierte Taucher zur Teilnahme eingeladen, die im Hafen angetroffen oder in ihren Häusern besucht wurden. Von den 63 auf diesem Weg identifizierten Tauchern, nahmen 31 teil (Teilnahmequote 49,2%).

Die korrekte Durchführung des Tests d2 zur Erfassung der Aufmerksamkeit setzt voraus, dass die Testperson zum einen Lesekompetenz und zum anderen ausreichendes Sehvermögen aufweist<sup>21</sup>. Aufgrund von Analphabetismus oder Schwierigkeiten, die Zeichen des Tests optisch zu erkennen, nahmen 37 Taucher nur am Fragebogen teil und mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die endgültige Studienpopulation umfasste somit 97 Muscheltaucher. Insgesamt ergab sich eine Teilnahmequote 50,0%<sup>VI</sup>.

### 3.2 Untersuchungsablauf

Sowohl die Ethikkommission des Klinikums der Universität München als auch diejenige des chilenischen „*Instituto de Seguridad del Trabajo*“ (chilenische Berufsgenossenschaft) äußerten keine ethischen Bedenken gegen die Durchführung der Studie. Die Datenerfassung erfolgte in einem Gebäude der Fischereiverwaltung von Carelmapu, direkt im Hafen des Dorfes (Abbildung 6). Die Taucher erschienen hierfür einzeln zu ihrem jeweiligen Termin, der im Vorfeld an ihrem Wohnort oder im Hafen vereinbart worden war. Sie wurden über die Zielsetzung der Studie, die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme und die anonyme Behandlung ihrer Daten aufgeklärt. Sie erhielten weiterhin eine Kopie der Probandenaufklärung (siehe 8.2 im Anhang). Jedem Teilnehmer wurde zudem seine persönliche Identifikationsnummer mitgeteilt, mit deren Hilfe er seine Teilnahme im Nachhinein jederzeit widerrufen konnte. Es bestand ansonsten keine Verknüpfung zwischen Name und Identifikationsnummer, so dass die Anonymität der Studie gewährleistet war.

---

VI  $\frac{97 \text{ Teilnehmer}}{168 \text{ gewerkschaftlich organisierte Taucher} + 63 \text{ nicht gewerkschaftlich organisierte Taucher} - 37 \text{ Nichtteilnehmer}} \cdot 100\%$

**Abbildung 6: Hafen von Carelmapu mit Gebäude der Fischereiverwaltung in dem die Datenerhebung stattfand (roter Pfeil) und Taucherbooten (blauer Pfeil). (Quelle: Eigene Aufnahme)**



Alle Untersuchungen wurden vom Autor dieser Arbeit und einer örtlichen Krankenschwester durchgeführt. Im Rahmen der etwa 30 minütigen Untersuchung bearbeiteten die Studienteilnehmer zunächst den Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 nach Brickenkamp in der spanischsprachigen Version nach Seisdedos Cubero<sup>21</sup>. Im Anschluss beantworteten sie die Items einer erweiterten Version des Fragebogens „*Conjunto mínimo básico de ítems para el diseño de cuestionarios sobre condiciones de trabajo y salud*“ nach Benavides et al. (2010)<sup>16</sup> (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Ablauf und Dauer der Untersuchungsphasen**

Phase	Arbeitsschritt	Geschätzte mittlere Dauer (min)
<b>Vorbereitung</b>	Persönliche Einladung und individuelle Terminvereinbarung	05
<b>Datenerhebung</b>	Vorstellen der Studie und Probandenaufklärung	05
	Durchführung des Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2	10
	Fragebogenuntersuchung	15
	Bestimmung von Körpergewicht und –größe und Berechnung des BMI*	02
<b>Nachbereitung</b>	Auswertung des Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2	05
	Eingabe der gewonnen Daten in das Statistik-Programm EpiInfo 3.5.4**	20

\* Body-Mass-Index

\*\* Die Daten wurden zunächst in zwei separate Datensätze eingegeben, die im Anschluss digital abgeglichen und gegebenenfalls korrigiert wurden, um Fehleingaben zu vermeiden.

### 3.3 Psychometrische Testung mittels Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2

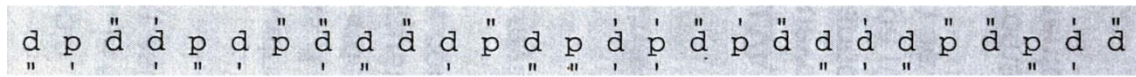
Beim Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 (siehe 8.4 im Anhang) handelt es sich um ein etabliertes Messinstrument zur Quantifizierung der selektiven Aufmerksamkeitsleistung<sup>13, 101</sup>. Gemessen wird die Fähigkeit, sich während eines vorgegebenen Zeitraums auf eine Aufgabe zu fokussieren und distrahierende Stimuli auszublenden<sup>21</sup>. In seiner Grundform wurde der Test 1962 von dem Psychologieprofessor Rolf Brickenkamp veröffentlicht. In verschiedenen Versionen und übersetzt in mehrere Sprachen stellt er seit Jahrzehnten ein psychometrisches Standardinstrument dar, das bis heute im klinischen, industriellen und Bildungsbereich eingesetzt wird. Seine hohe Validität und Reliabilität ist durch eine Vielzahl von Studien belegt<sup>13, 21, 108</sup>.

Als allgemeiner Leistungstest quantifiziert der Test d2 definitionsgemäß die Voraussetzung zur Erbringung von kognitiver Leistung unabhängig von Intelligenz und auch Vorbildung<sup>20, 94</sup>. Dies war aufgrund des teilweise sehr niedrigen Bildungsniveaus der Taucher ein wichtiges Auswahlkriterium für diesen Test (für weitere Kriterien siehe Kapitel 5.1.2).

### *Testaufbau*

Auf dem Testbogen sind 14 Zeilen mit jeweils 47 Zeichen aufgedruckt, insgesamt also 658 Zeichen. Dabei handelt es sich entweder um die Buchstaben „d“ oder „p“, teilweise versehen mit einem oder zwei kleinen Strichen, die über oder unterhalb des Zeichens platziert sein können (Abbildung 7).

**Abbildung 7: Ausschnitt aus einer Reihe des Tests d2**



Aufgabe der Testperson ist es, jede Linie von links nach rechts zu überprüfen und all diejenigen Buchstaben „d“ durch Durchstreichen mit einem Bleistift zu markieren, welche mit insgesamt zwei Strichen versehen sind. Diese können sich beide oberhalb, beide unterhalb oder einer oberhalb, einer unterhalb des Buchstabens befinden<sup>21</sup>.

Für jede Linie besteht eine Zeitbegrenzung auf 20 Sekunden, dann folgt auf Anweisung des Untersuchers unmittelbar der Wechsel zur nächsten Zeile, auch wenn der Proband noch nicht die gesamte Zeile bearbeitet hat.

### *Auswertung*

Ausgezählt wird die Zahl der:

- Insgesamt bearbeiteten Zeichen
- Richtig markierten Zeichen
- Fälschlich nicht markierten Zeichen, genannt Auslassungsfehler
- Fälschlich markierten Zeichen, genannt Verwechslungsfehler

Für die Auswertung in dieser Studie wurden drei aus diesen Werten berechnete standardisierte Kennwerte verwendet<sup>20, 21</sup>:

#### 1. Gesamtleistungswert (GZ-F):

- Dieser Kennwert stellt die Zahl der bearbeiteten Zeichen abzüglich der Gesamtzahl der Fehler dar (Verwechslungsfehler und Auslassungsfehler).

- Der Gesamtleistungswert ist das in Studien meistverwendete Mittel zu Quantifizierung der Aufmerksamkeit<sup>21</sup>.

## 2. Konzentrationsleistungswert (KL):

- Der Konzentrationsleistungswert ist als Zahl der richtig markierten Zeichen minus der Verwechslungsfehler definiert<sup>21</sup>.
- Vor allem bei schnellem, ungenauem Vorgehen der Testperson stellt der Konzentrationsleistungswert ein alternatives Mittel der Quantifizierung der Aufmerksamkeit dar. In einer australischen Studie hatten die untersuchten Berufstaucher kognitive Tests signifikant schneller und weniger genau bearbeitet als die Kontrollgruppe<sup>140</sup>. Angesichts dessen erschien es sinnvoll, für die Auswertung der vorliegenden Studie auch den Konzentrationsleistungswert heranzuziehen.

## 3. Die Schwankungsbreite (SB):

- Die Schwankungsbreite stellt die Differenz zwischen maximaler und minimaler Anzahl der bearbeiteten Zeichen pro Zeile dar.
- Hohe Werte sind als Inkonsistenzen zu werten und können auf fehlende Motivation des Probanden hinweisen<sup>21</sup>.
- Mit diesem Wert wurde in der hier dargestellten Studie die Motivation der Studienteilnehmer überprüft.

### 3.4 Fragebogenuntersuchung

Der Fragebogen (siehe 8.3 im Anhang) diene neben der soziodemographischen Beschreibung der Probanden der Abschätzung von Dauer und Intensität der Exposition sowie der Identifikation weiterer Einflussfaktoren. Verwendet wurden 39 Fragen, die größtenteils aus primär validierten Fragebogeninstrumenten entnommen wurden.

Im Einzelnen waren dies der Fragebogen „*Conjunto mínimo básico de ítems para el diseño de cuestionarios sobre condiciones de trabajo y salud*“ nach Benavides et al. (2010)<sup>16</sup> sowie die verwendeten Instrumente der „ELTHI“ Tauchstudie der University of Aberdeen (2004)<sup>70</sup> und der Studie „*Prospective Observational Study of Decompres-*



sion Sickness in Scuba Divers with Patent Foramen Ovale (PFO)“ von Ebersole et al. (2010)<sup>33</sup>. Zur Diagnose problematischen Alkoholkonsums wurde zudem die Screening-Skala EBBA (*“Escala Breve de Beber Anormal”*) der Universidad Católica de Chile genutzt<sup>98</sup>.

Einige wenige Fragen mussten zudem eigens für die Studie erstellt oder angepasst werden. Diese wurden in Zusammenarbeit mit Tauchexperten des chilenischen „*Instituto de Seguridad del Trabajo*“ (IST) entwickelt und durch die Experten auf ihre *face validity* („augenscheinliche Validität“) geprüft. Zudem wurden sie in einem Pretest mit 2 Muscheltauchern in Carelmapu auf ihre Verständlichkeit getestet.

Der Fragebogen war in 4 Teile gegliedert (siehe 8.3 im Anhang):

- **Allgemeines:** Alter, Bildungsabschluss, Einkommen
- **Tauchverhalten:** Tauchjahre (Anzahl der Lebensjahre, in denen der Proband als Taucher gearbeitet hat), durchschnittliche Zahl der Tauchgänge pro Woche, durchschnittliche Tauchdauer pro Tauchgang, Häufigkeit des Tauchens in verschiedenen Tiefen, Kenntnis sowie Verwendung von Dekompressionstabellen
- **Gesundheitszustand und -prävention:** Spezifische Beschwerden, Symptome der Dekompressionserkrankung in der Vorgeschichte, Tauchunfälle, Depressionsscreening, allgemeine Arbeitsunfälle, letzter Gesundheitscheck
- **Risikoverhalten:** Tabakkonsum, Alkoholkonsum, Screening auf problematischen Alkoholkonsum, Body-Mass-Index

Der Body-Mass-Index (BMI) wurde dabei im Untersuchungszentrum ermittelt und auf dem Fragebogen notiert. Zu diesem Zweck wurden Körpergröße und –gewicht der Teilnehmer gemessen und der Index mit Hilfe der folgenden Formel berechnet<sup>107</sup>:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$$

### 3.5 Statistische Auswertung

Folgende Fragebogenitems wurden in der Auswertung berücksichtigt:

Nicht-tauchspezifische Items:

*Mögliche Confounder (dt. Störfaktoren):*

- **Lebensalter ( $\geq 40$  Jahre vs.  $< 40$  Jahre):** Die mittels Tests d2 gemessene Aufmerksamkeit und Konzentration nimmt nachweislich im Laufe des Erwachsenenalters ab<sup>21</sup>. Zudem könnte das Tauchverhalten vom Lebensalter abhängen. Der Faktor stellte somit einen möglichen *Confounder* dar.
- **Schulbildung (Höchstens Grundschulbildung vs. mindestens mittlere Schulbildung):** Mangelhafte Lesekompetenz etwa durch geringe Schulbildung stellt ein Ausschlusskriterium für den Test d2 dar und könnte die Ergebnisse des d2 beeinflussen<sup>21</sup>. Es könnte auch mit dem Tauchverhalten zusammenhängen und somit die Ergebnisse verzerren.
- **Tabakkonsum (Raucher vs. Nichtraucher) / Übergewicht ( $\text{BMI} \geq 25$  vs.  $< 25$ ) / Alkoholkonsum (Problematischer Alkoholkonsum vs. kein problematischer Alkoholkonsum):** Diese Faktoren wurden berücksichtigt, da sie zum Beispiel im Rahmen arteriosklerotischer Prozesse mit Durchblutungsstörungen<sup>7</sup> oder alkoholbedingter Hirnveränderungen<sup>52</sup> tauchunabhängige Risikofaktoren für kognitive Einschränkungen darstellen könnten. Sofern sie auch mit dem Tauchverhalten zusammenhängen, könnten sie die Ergebnisse stören.

*Möglicher Risikofaktor für schlechtes Abschneiden im Test d2 neben dem Tauchverhalten:*

- **Sehstörungen (Sehstörungen während der letzten 4 Wochen vs. keine Sehstörungen während der letzten 4 Wochen):** Eingeschränktes Sehvermögen stellt ebenfalls ein Ausschlusskriterium für den Test d2 dar, da es die Erkennbarkeit und Verarbeitung der Zeichen des Tests einschränkt und zu einer Verzerrung führen kann.

*Beschreibende Merkmale:*

- **Konzentrationsbeschwerden (Konzentrationsbeschwerden während der letzten 4 Wochen vs. keine Konzentrationsbeschwerden während der letzten 4 Wochen):** In der großangelegten ELTHI-Tauchstudie hatten Berufstaucher signifikant häufiger solche Beschwerden angegeben als Personen der Kontrollgruppe<sup>70</sup>.
- **Monatliches Netto-Einkommen über 366.600 CLP<sup>VII</sup> vs. monatliches Netto-Einkommen unter 366.600 CLP<sup>VI</sup> (≈461,92€; Stand 15.01.2016<sup>25</sup>):** Dieser Betrag stellte die Obergrenze der niedrigsten Einkommenskategorie im standardisierten Fragebogen „*Conjunto mínimo básico de ítems para el diseño de cuestionarios sobre condiciones de trabajo y salud*“ nach Benavides et al. (2010)<sup>16</sup> dar.

Mögliche tauchspezifische Risikofaktoren für schlechtes Abschneiden im Test d2:

- **Tauchjahre (Über Median vs. unter Median der Teilnehmer):** Taucher, die in ihrem Leben während mehr Jahren getaucht hatten, als dies beim Median der Taucher der Fall war. Der Faktor diene zur Abschätzung der kumulativen Tauchbelastung.
- **Tauchhäufigkeit (≥8 Tauchgänge vs. <8 Tauchgänge pro Woche) / Durchschnittliche Tauchdauer (≥2h vs. <2h):** Zwei Faktoren zur Identifikation von Tauchern mit erhöhter Tauchbelastung jeweils oberhalb des Medians der Teilnehmer.
- **Tiefes Tauchen (Ja vs. Nein):** Zur Untersuchung der Bedeutung der Tauchtiefe wurden diejenigen Muscheltaucher identifiziert, die häufiger in größeren Tiefen tauchten als andere Teilnehmer. Dafür wurde das Kollektiv am Median geteilt. Entsprechend wurden die Teilnehmer dann der Gruppe „Tiefes Tauchen“ zugeteilt, falls sie zu der annähernd Hälfte (47,4%; siehe Tabelle 6, Kapitel 4.1.1) der Taucher gehörten, die im Fragebogen angab, „oft“ in 30-50 Meter bzw. „gelegentlich“ oder „oft“ in über 50 Meter Tiefe zu tauchen.

---

<sup>VII</sup> Chilenische Pesos

- **Beherrschen des Umgangs mit Dekompressionstabellen (Nicht oder unvollständig vs. vollständig):** Dieser Faktor diente zur Abschätzung, inwiefern die unter den Tauchern Carelmapus verbreiteten Defizite in der Benutzung der Tabellen einen Risikofaktor für kognitive Schädigung darstellen könnten.
- **Episoden der Dekompressionserkrankung Typ I in der Vorgeschichte (Ja vs. Nein):** Die Taucher wurden der Positiv-Gruppe zugeteilt, falls sie im Fragebogen angaben, mindestens eines der folgenden Symptome der Typ I Dekompressionserkrankung nach dem Tauchen erlebt zu haben:
  - Juckreiz der Haut, Hautausschlag, fleckige oder geschwollene Haut
  - Schmerz in Gelenken oder Muskeln
- **Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II in der Vorgeschichte (Ja vs. Nein):** Die Taucher wurden der Positiv-Gruppe zugeteilt, falls sie im Fragebogen angaben, mindestens eines der folgenden Symptome der Typ II Dekompressionserkrankung nach dem Tauchen erlebt zu haben:
  - Schwindel
  - Verlust des Gleichgewichts
  - Atemnot oder Erstickungsgefühl
  - Taubheitsgefühl oder Kribbeln
  - Muskelschwäche oder Lähmung
  - Verlust des Sehvermögens
  - Unfähigkeit zu urinieren
  - Verwirrtheit, Orientierungsverlust oder Gedächtnisverlust
  - Bewusstseinsverlust
- **Tauchtiefensumme (0-18):** Diese nutzten wir zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung. Berechnet wurde sie durch Gewichtung und Summierung der angegebenen Tauchhäufigkeit in den verschiedenen Kategorien nach folgendem System (Tabelle 4):

**Tabelle 4: Berechnung der Tauchtiefensumme durch Gewichtung der Tauchhäufigkeit in den verschiedenen Tiefenkategorien. Der jeweilige Wert für die Kategorie „Bis 30 m“ wurde mit dem für „30-50 m“ und „Tiefer als 50 m“ aufsummiert.**

Tauchtiefe	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft
Bis 30 m	0	1	2	3
30 – 50 m	0	2	4	6
Tiefer als 50 m	0	3	6	9

Für die deskriptive, bivariate und multivariate Analyse der Daten wurde das Programm EpiInfo 3.5.4 genutzt. Um Übertragungsfehler zu vermeiden, wurden sie jeweils in zwei separate Datensätze eingegeben, die im Anschluss digital abgeglichen und gegebenenfalls korrigiert wurden.

In einem ersten Schritt der Analyse wurden die absoluten und relativen Häufigkeiten allgemeiner und tauchspezifischer Charakteristika der Studienpopulation berechnet. Um einen möglichen Selektionsbias durch Ausschluss von Probanden vom Test d2 zu untersuchen, wurden Fragebogenangaben von Teilnehmern und Nichtteilnehmern des Tests d2 mittels Chi<sup>2</sup>-Tests auf Unabhängigkeit überprüft.

Im Weiteren wurde deskriptiv die Verteilung der erreichten Werte der Taucher für die Kennwerte Gesamtleistungswert (GZ-F), Konzentrationsleistungswert (KL) und Schwankungsbreite (SB) des Tests d2 analysiert. Zudem wurde sie durch Darstellung der Perzentile mit der spanischen Norm-Tabelle des Tests d2 für Erwachsene<sup>16</sup> verglichen.

In einem nächsten Schritt erfolgte mittels Kreuztabellen und Chi<sup>2</sup>-Tests die bivariate Analyse in Hinblick auf die Assoziation der oben genannten Faktoren mit den Zielgrößen Gesamtleistungswert und Konzentrationsleistungswert. Diese wurde dafür am Median geteilt.

Diejenigen Charakteristika, die bivariat mit den Leistungswerten des Tests d2 assoziiert waren ( $p < 0,10$ ), wurden in die multiplen logistischen Regressionsmodelle aufgenommen. In einer Sensitivitätsanalyse wurden die Zielgrößen auch kontinuierlich betrachtet. Hierfür kamen lineare Regressionsmodelle zum Einsatz.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Daten

#### 4.1.1 Vergleich von Teilnehmern und Nichtteilnehmern des Tests d2

Zunächst wurden die Taucher, die vom Test d2 ausgeschlossen werden mussten, mit den Teilnehmern verglichen. Wie in Tabelle 5 dargestellt, waren die Nichtteilnehmer statistisch signifikant älter, verfügten über eine geringere Schulbildung und klagten häufiger über Einschränkungen ihres Sehvermögens. In Bezug auf weitere allgemeine Risikofaktoren wie Rauchen, Übergewicht/Adipositas und problematischem Alkoholkonsum bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Insgesamt war das Kollektiv überwiegend 40 Jahre oder älter (75%) und hatte einen geringen Bildungsstand (64%). Viele der Teilnehmer waren Raucher (68%). 83% waren übergewichtig, bei einem Viertel ließ sich problematischer Alkoholkonsum eruieren. 87% der Taucher, die diese Frage beantworteten, gaben ein monatliches Nettoeinkommen weniger als 366.600 CLP ( $\pm 461,92\text{€}$ ; Stand 15.01.2016<sup>25</sup>) an, was der niedrigsten Kategorie des standardisierten Fragebogens entsprach (siehe auch Tabelle 15 im Anhang).

**Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse der Fragebogenangaben von Teilnehmern und Nichtteilnehmern am Test d2. Absolute und relative Häufigkeiten.**

	Teilnehmer Test d2 (n=97)	Nichtteilnehmer Test d2 (n=37)	
	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>	<i>p<sub>Chi<sup>2</sup></sub></i>
Alter mindestens 40 Jahre	65 (67,0%)	35 (94,6%)	0,0003
Höchstens Grundschulbildung*	52 (53,6%)	34 (91,9%)	0,00003
Raucher	68 (70,1%)	23 (62,2%)	0,19
Übergewicht**	78 (80,4%)	33 (89,2%)	0,12
Problematischer Alkoholkonsum	25 (25,8%)	10 (27,0%)	0,44
Sehstörungen während der letzten 4 Wochen	18 (18,6%)	15 (40,5%)	0,006
Konzentrationsbeschwerden in den letzten 4 Wochen***	14 (14,4%)	5 (13,5%)	0,46
Monatliches Nettoeinkommen von höchstens 366.600 CLP****	76 (83,5%)*	34 (94,4%)*	0,05

\*In Chile 8 Jahre

\*\*BMI  $\geq 25$

\*\*\*„moderate“ oder „schwere“ Konzentrationsbeschwerden

\*\*\*\*Chilenische Pesos; ( $\pm 461,92\text{€}$ ; Stand 15.01.2016<sup>25</sup>)

\*\*\*\*\* Frage wurde von 6 Teilnehmern bzw. 1 Nichtteilnehmer des Tests d2 nicht beantwortet

In Bezug auf Tauchverhalten und tauchspezifische Faktoren (Tabelle 6) fiel auf, dass die Nichtteilnehmer am Test d2 mehr Tauchjahre aufwiesen und ein größerer Teil nach eigenen Angaben den Gebrauch der Dekompressionstabellen nicht vollständig beherrschte. Dieser Anteil war mit 44% jedoch auch unter den Teilnehmern sehr hoch, ebenso wie derjenige der Taucher mit DCI Typ I bzw. II in der Vorgeschichte (67% bzw. 65%).

Taucher beider Gruppen arbeiteten häufig weit unterhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Maximaltiefe von 20 Metern. Während Taucher ohne Test d2 häufiger angaben, „Tiefes Tauchen“ zu praktizieren als Teilnehmer des Tests, war die Tauchtiefensumme annähernd gleich verteilt.

**Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse der Fragebogenangaben von Teilnehmern und Nichtteilnehmern am Test d2. Absolute und relative Häufigkeiten.**

	Taucher mit Test d2 (n=97)	Taucher ohne Test d2 (n=37)	
<i>Allgemeine Tauchfaktoren</i>	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>	<i>p<sub>Chi2</sub></i>
Über 23 Tauchjahre*	48 (49,5%)	32 (86,5%)	0,00003
Mindestens 8 Tauchgänge pro Woche	31 (32,0%)	12 (32,4%)	0,48
Tauchgänge gewöhnlich länger als 2h	28 (28,9%)	15 (40,5%)	0,10
Beherrscht Umgang mit Dekompressionstabellen nicht	43 (44,3%)	25 (67,6%)	0,009
Tiefes Tauchen**	46 (47,4%)	22 (59,5%)	0,11
DCI Typ I*** in Vorgeschichte	65 (67,0%)	30 (81,1%)	0,06
DCI Typ II*** in Vorgeschichte	63 (64,9%)	26 (70,3%)	0,29
<i>Tauchtiefensumme****</i>	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>	
0 – 3	11 (11,3%)	6 (16,2%)	
4 – 6	8 (8,2%)	4 (10,8%)	
7 – 9	32 (33,0%)	11 (29,7%)	
10 – 12	13 (13,4%)	3 (8,1%)	
13 – 15	26 (26,8%)	8 (21,6%)	
16 – 18	7 (7,2%)	5 (13,5%)	
	<i>Median (min-p25-p75-max)</i>	<i>Median (min-p25-p75-max)</i>	<i>p<sub>Mann-Whitney-U</sub></i>
Tauchjahre	23 (1 – 15 – 27 – 52)	30 (5 – 25 – 35 – 47)	<0,0001
Tauchtiefensumme****	9 (2 – 7 – 13 – 18)	9 (2 – 6 – 13 – 18)	0,99

\*Median der Taucher mit Teilnahme am Test d2

\*\*Taucher, die häufiger in größeren Tiefen tauchten („oft“ in 30-50 m bzw. „gelegentlich“ oder „oft“ in über 50 m Tiefe)

\*\*\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung) Typ I bzw. II

\*\*\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung (S. 30)

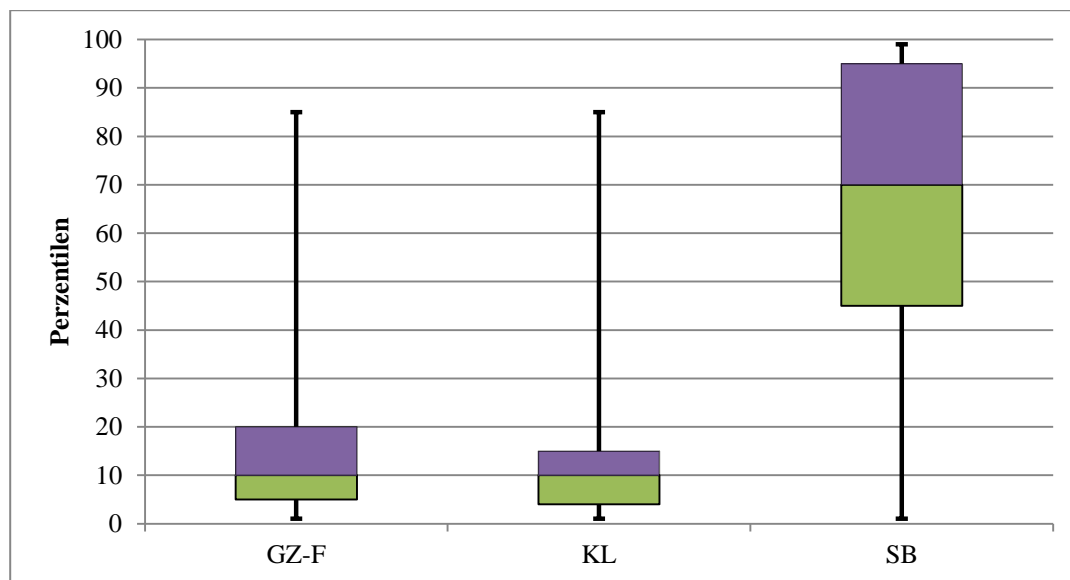
min: Minimaler Wert; p25 bzw. p75: 25. bzw. 75. Perzentile; max: Maximaler Wert

#### 4.1.2 Kognitive Testung

Die teilnehmenden Taucher erreichten im Median einen Gesamtleistungswert (GZ-F) von 303 Punkten und einen Konzentrationsleistungswert (KL) von 105 Punkten. Der Median der Schwankungsbreite (SB) lag bei 16 Punkten (Abbildung 12 im Anhang).

Im Vergleich mit der spanischen Norm des Tests d2 für Erwachsene<sup>16</sup> lagen die Taucher sowohl im Gesamtleistungswert wie auch im Konzentrationsleistungswert im jeweiligen Median auf der 10. Perzentile (Abbildung 8). Die Ergebnisse der Schwankungsbreite bewegten sich im Median auf der 70. Perzentile der Normstichprobe und waren breiter verteilt als für die beiden anderen Kennwerte.

**Abbildung 8: Box-Whisker-Plots des Tests d2 der Studienpopulation bezogen auf die spanische Normstichprobe (n=97 Muscheltaucher)**



GZ-F=Gesamtleistungswert; KL=Konzentrationsleistungswert; SB=Schwankungsbreite

Der Gesamtleistungswert und der Konzentrationsleistungswert waren in unserer Stichprobe linear mit einander assoziiert (Abbildung 13 im Anhang). Zur weiteren Analyse wurden die Ergebnisse des Tests d2 am Median dichotomisiert. Hier zeigte sich eine Gesamtübereinstimmung der beiden Größen von 75% (95% CI 67 – 84%; Tabelle 7) bei einem Kappa-Index von 0,51 ( $p < 0,001$ ).



**Tabelle 7: Übereinstimmung der am Median dichotomisierten Kenngrößen des Tests d2**

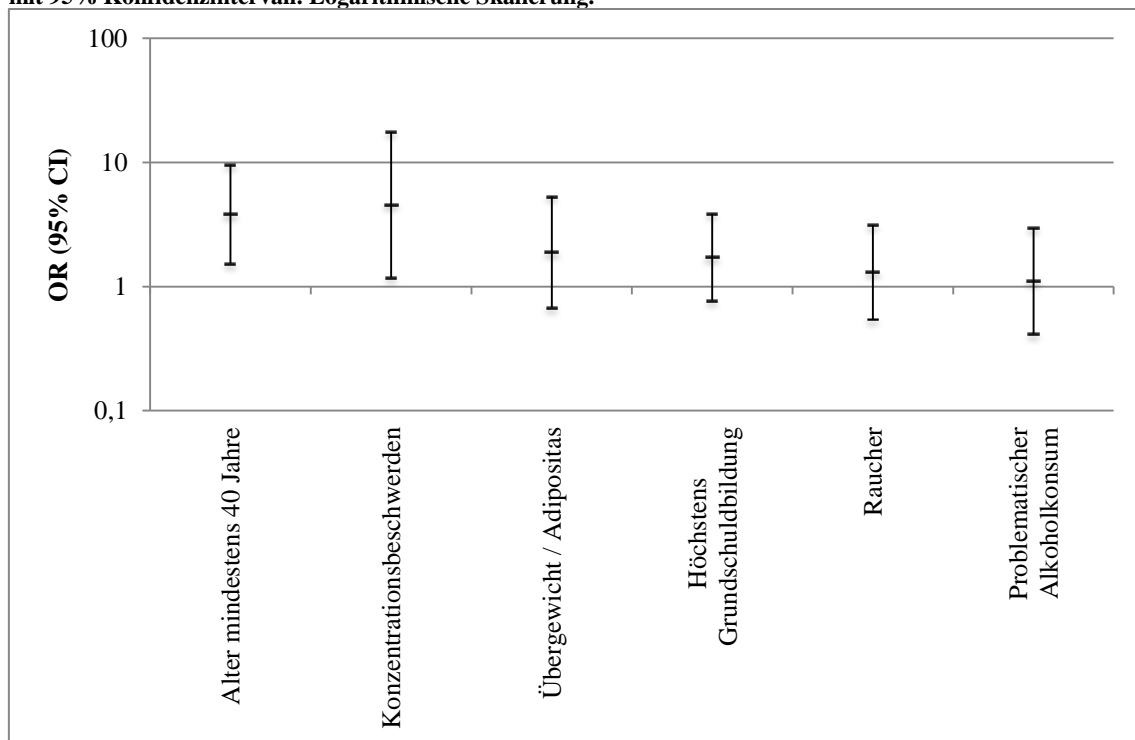
	GZ-F < 303 (Median) (n=46)	GZ-F ≥ 303 (Median) (n=51)
	<i>n (% Gesamt)</i>	<i>n (% Gesamt)</i>
KL < 105 (Median) (n=48)	35 (36,1%)	11 (11,3%)
KL ≥ 105 (Median) (n=49)	13 (13,4%)	38 (39,2%)

GZ-F=Gesamtleistungswert bzw. KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

## 4.2 Ergebnisse der bivariaten Analysen

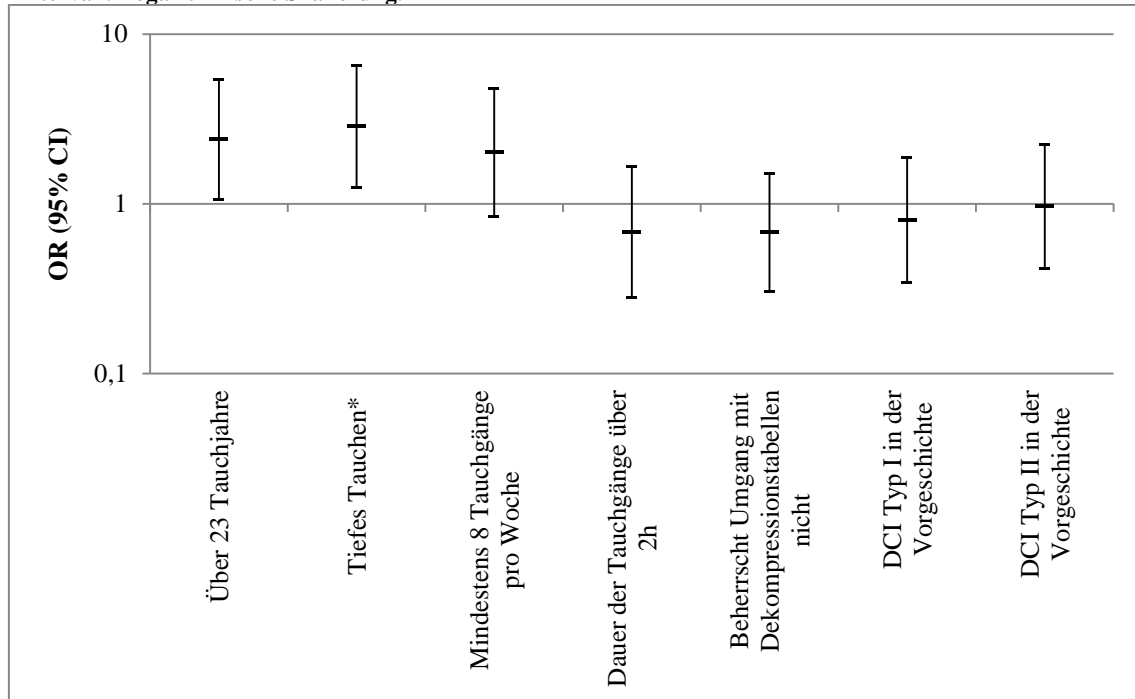
In der bivariaten Analyse zeigte sich ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko, einen Gesamtleistungswert unterhalb des Medians zu erzielen, wenn der Taucher 40 Jahre oder älter war, subjektive Konzentrationsbeschwerden angab (Abbildung 9, vergleiche auch Tabelle 17 im Anhang) und während über 23 Jahren seines Lebens getaucht hatte. Auch „Tiefes Tauchen“ war statistisch signifikant mit einem erhöhten Risiko assoziiert. Episoden der Dekompressionserkrankung Typ I oder II in der Vorgeschichte waren nicht mit dem Testergebnis assoziiert (Abbildung 10, vergleiche auch Tabelle 17 im Anhang).

**Abbildung 9: Bivariate Zusammenhänge zwischen allgemeinen Charakteristika der Muscheltaucher und schlechterem Abschneiden im Test d2 (GZ-F\* <Median). Nicht adjustierte odds ratios mit 95% Konfidenzintervall. Logarithmische Skalierung.**



\* GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

**Abbildung 10: Bivariate Zusammenhänge zwischen tauchspezifischen Charakteristika der Muscheltaucher und schlechterem Abschneiden im Test d2 (GZ-F\* <Median). Nicht adjustierte odds ratios mit 95% Konfidenzintervall. Logarithmische Skalierung.**



\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

Die Ergebnisse für die bivariate Analyse des Konzentrationsleistungswertes KL sind im Anhang dargestellt (Abbildung 14, 15 und Tabelle 19). Hier stellten „Alter mindestens 40 Jahre“ und „Über 23 Tauchjahre“ statistisch signifikante Einflussgrößen für einen Konzentrationsleistungswert unterhalb des Medians der Teilnehmer dar. Die Assoziation mit „Tiefes Tauchen“ war nicht statistisch signifikant mit dem Konzentrationsleistungswert assoziiert (OR 2,0 95% CI 0,9-4,5).

### 4.3 Ergebnisse der multiplen logistischen und linearen Regression

In der multiplen logistischen Regression wurden neben den in der bivariaten Analyse statistisch signifikanten Faktoren „Tiefes Tauchen“ und „Über 23 Tauchjahre“ der grenzwertig signifikante Faktor „Mindestens 8 Tauchgänge pro Woche“ aufgenommen. Die ebenfalls statistisch signifikanten Einflussgrößen „Alter mindestens 40 Jahre“ und „Konzentrationsbeschwerden“ wurden unberücksichtigt gelassen, da erstere stark mit den Tauchjahren übereinstimmte (80,5%; Tabelle 16 im Anhang) und letztere als Symptom und nicht als Risikofaktor kognitiver Defizite zu werten sind. Hierbei veränderten sich die *odds ratios* nur wenig, wobei einzig der Faktor „Tiefes Tauchen“ statistisch signifikant mit den Ergebnissen des Tests d2 assoziiert war (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (GZ-F\* < Median) – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen logistischen Regression**

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,87	1,56 – 6,56	2,46	1,04 – 5,81
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,45	1,93	0,82 – 4,56
Mind. 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	2,02	0,85 – 4,83	1,93	0,78 – 4,78

\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

Um die Konsistenz der Ergebnisse zu überprüfen, wurde entsprechend der im Methodikteil ausgeführten Methode eine individuelle Tauchtiefensumme zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung erstellt (Kapitel 3.4). Eine logistische Regressionsanalyse, in der der Zusammenhang zwischen dem Gesamtleistungswert (<Median) und der kategorisierten, für die beiden anderen relevanten Tauchfaktoren adjustierten Tauchtiefensumme betrachtet wurde, ergab insgesamt keine statistisch signifikante Assoziation (Tabelle 9). Es zeigte sich aber ein statistisch nicht signifikanter Anstieg der *odds ratios* bis zur Kategorie „10-12“ der Tauchtiefensumme. Der Wert „10“ konnte von einem Taucher nur erreicht werden, wenn er angab, mindestens „selten“ tiefer als 50 Meter zu tauchen.

**Tabelle 9: Zusammenhang zwischen der kategorisierten Tauchtiefensumme, weiteren relevanten tauchspezifischen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (GZ-F\* <Median) – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen logistischen Regression**

<i>Tauchtiefensumme**</i>	<i>% (n)</i>	Roh		Adjustiert	
		<i>OR</i>	<i>95% CI</i>	<i>OR</i>	<i>95% CI</i>
0 – 3	11,3% (11)	1,0		1,0	
4 – 6	8,2% (8)	2,70	0,33 – 21,98	2,71	0,32 – 22,87
7 – 9	33,0 % (32)	4,50	0,84 – 24,18	3,36	0,60 – 18,75
10 – 12	13,4% (13)	10,13	1,47 – 69,93	7,28	1,00 – 52,73
13 – 15	26,8% (26)	5,25	0,94 – 29,18	3,62	0,61 – 21,29
16 – 18	7,2% (7)	6,00	0,70 – 51,10	4,93	0,56 – 43,67
<i>Andere Faktoren</i>					
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,45	1,92	0,80 – 4,61
Mind. 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	2,02	0,85 – 4,83	1,84	0,73 – 4,64

\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

Im Anschluss erstellten wir zur Sensitivitätsanalyse ein lineares Regressionsmodell, in das der Gesamtleistungswert und die adjustierte Tauchtiefensumme unkategorisiert als kontinuierliche Größen einfließen (Tabelle 10). Hier ergab sich eine statistisch signifikante lineare Assoziation zwischen größerer Tauchtiefenbelastung und schlechterem Abschneiden im Test. Jeder zusätzliche Punkt der Tauchtiefensumme war mit einer Verschlechterung des Gesamtleistungswertes um 4 Punkte assoziiert ( $p=0,04$ ). Abbildung 11 illustriert den Zusammenhang ohne Adjustierung graphisch. In einem weiteren Modell, in das die „Tauchjahre“ und die „Tauchgänge pro Woche“ kontinuierlich bzw. ordinal miteinfließen, zeigte sich keine statistisch signifikante Assoziation zwischen Testleistung und Tauchtiefensumme (Tabelle 18 im Anhang).

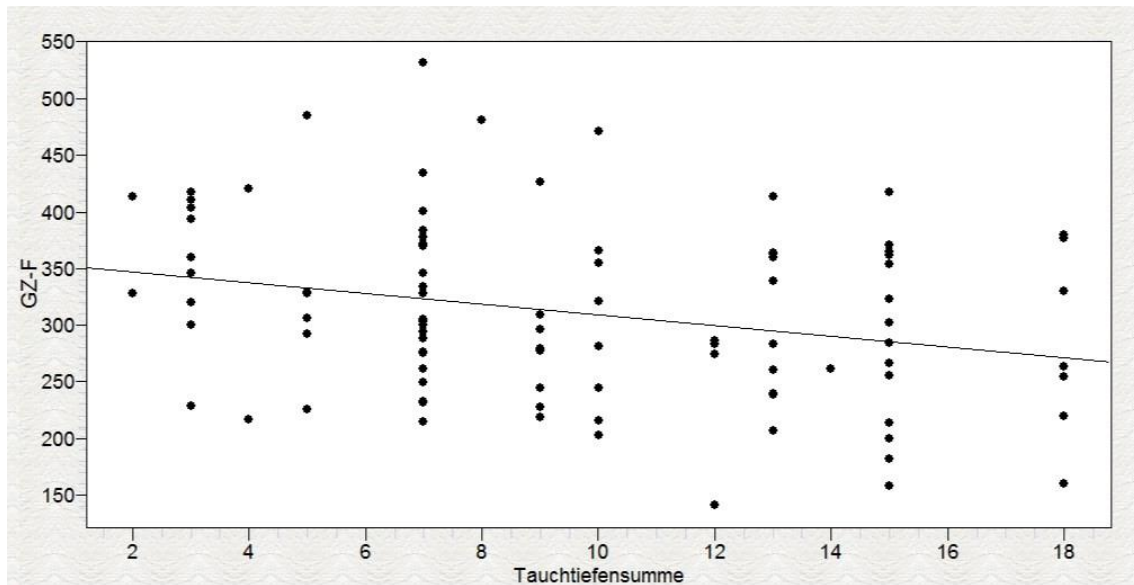
**Tabelle 10: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und den GZ-F\*-Ergebnissen des Tests d2 – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen linearen Regression**

	Roh		Adjustiert	
	<i>Regressionskoeffizient</i>	<i>p<sub>Lineare Regression</sub></i>	<i>Regressionskoeffizient</i>	<i>p<sub>Lineare Regression</sub></i>
Tauchtiefensumme**	-4,53	0,01	-3,76	0,04
Über 23 Tauchjahre	-32,39	0,04	-20,85	0,20
Mind. 8 Tauchgänge pro Woche	-23,59	0,17	-20,77	0,21

\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

Abbildung 11: Punkt-Wolken-Diagramm zur Assoziation zwischen der Tauchtiefensumme\*\* und dem GZ-F\*



\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

\*\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

Für den Konzentrationsleistungswert (KL) ließ sich in einem für „Tauchjahre“ und „Tauchgänge pro Woche“ adjustierten logistischen Regressionsmodell kein statistisch signifikanter Zusammenhang mit der Tauchtiefe nachweisen (Tabelle 20 und Tabelle 21 im Anhang). Allerdings erwies sich in der Sensitivitätsanalyse mittels adjustierter linearer Regression auch für diesen Leistungswert eine größere Tauchtiefenbelastung statistisch signifikant mit schlechterem Abschneiden im Test assoziiert (Tabelle 22 im Anhang). Der erzielte Wert verschlechterte sich dabei mit jedem Punkt der Tauchtiefensumme um durchschnittlich 3 Punkte ( $p=0,007$ ; Abbildung 16 im Anhang illustriert den Zusammenhang ohne Adjustierung graphisch). Flossen die „Tauchjahre“ und die „Tauchgänge pro Woche“ kontinuierlich bzw. ordinal in das Modell mit ein, so ergab sich ein grenzwertig statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Tauchtiefensumme und Konzentrationsleistungswert ( $\beta: -1,87$ ;  $p=0,06$ ; Tabelle 23 im Anhang).

## 5 Diskussion

Die vorliegende Studie untersuchte mittels des „Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2“ und einem ausführlichen Fragebogen 97 chilenische Muscheltaucher hinsichtlich möglicher Langzeitfolgen des Tauchens auf die Aufmerksamkeit und versuchte Risikofaktoren zu identifizieren. Im Vergleich zum Niveau der spanischen Normstichprobe schnitten die Taucher in den relevanten Kennwerten der Testung sehr schlecht ab (10. Perzentile). Als wichtigste Einflussgröße stellten sich Tauchtiefen deutlich unterhalb der gesetzlich vorgeschriebenen 20 Meter heraus. Taucher, die oft tiefer als 30 Meter bzw. zumindest gelegentlich tiefer als 50 Meter tauchten, wiesen signifikant schlechtere Aufmerksamkeitswerte für den Gesamtleistungswert auf. Es fanden sich Hinweise auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Tauchtiefe und Aufmerksamkeitsdefiziten.

### 5.1 Diskussion der Methoden

#### 5.1.1 Studiendesign und Untersuchungskollektiv

Bei dieser Untersuchung handelt es sich um eine Querschnittserhebung, auch Prävalenzstudie genannt. Definitionsgemäß werden hierbei alle Variablen, also vermutete Expositionsfaktoren und die Erkrankung, zum gleichen Zeitpunkt erfasst<sup>57</sup>. Derartige Studien sind vergleichsweise schnell und kostengünstig durchzuführen und ein geeignetes Mittel um chronische Zustände, in diesem Fall kognitive Defizite, zu erfassen<sup>18</sup>. Zum einen lässt sich mit ihnen die Prävalenz einer Erkrankung in einer Population abschätzen, zum anderen können Assoziationen Hinweise auf mögliche Risikofaktoren liefern. Dieses Studiendesign ist somit „wichtig [...] zum Generieren ätiologischer Hypothesen“<sup>VIII</sup>, kann jedoch keine kausalen Zusammenhänge aufzeigen. Zudem ist es durch den punktuellen Charakter der Untersuchung nicht möglich, Rückschlüsse auf Inzidenz und Verlauf der beobachteten Krankheit zu ziehen<sup>100</sup>. Zwar konnte beispielsweise die aktuelle Leistungsfähigkeit bezüglich Aufmerksamkeit und Konzentration gemessen werden, jedoch keine Aussage dazu getroffen werden, ob es sich bei den beobachteten Defiziten, um das Ergebnis eines kontinuierlichen Prozesses oder eines oder mehrerer singulärer Ereignisse, etwa Tauchunfälle, handelt. Mit Hinblick auf die retrospektiv erfassten Faktoren, wie die berichteten Symptome der Dekompressionserkrankung, kommt potenziell ein *recall bias*<sup>19</sup> (dt. „Erinnerungsverzerrung“) hinzu, da unter-

---

<sup>VIII</sup>Hilgers, 2007, S. 203<sup>57</sup>

schiedliche Taucher sich eventuell unterschiedlich gut erinnerten und subtile Symptome tendenziell schneller vergessen werden<sup>100</sup>. Diesen Effekt versuchten wir hier durch das Abfragen einzelner Symptome und das Aufsummieren und Kategorisieren in Gruppen wie „DCI Typ I bzw. II erlebt (ja/nein)“ zu reduzieren.

Ein weiterer Punkt, der für die korrekte Durchführung einer Querschnittserhebung beachtet werden muss, ist die Auswahl der Studienteilnehmer aus der Gesamtpopulation mittels Zufallsstichprobe zur Vermeidung eines Selektionsbias<sup>57</sup>. Die für die vorliegende Studie zunächst gezogene Stichprobe gewerkschaftlich organisierter Taucher musste aufgrund der Bedingungen vor Ort, vor allem fehlerhafte Listen, Nicht-Erscheinen der Teilnehmer zu ihren Terminen und Unvermögen, den Test d2 zu bearbeiten, im Verlauf mehrfach ausgeweitet werden, bis sie alle aktiven Taucher Carelmapus umfasste, die Mitglied einer Gewerkschaft waren. Um die Zahl der Teilnehmer weiter zu erhöhen, wurde das Design danach insofern verändert, als nun auch Taucher eingeladen waren, die nicht Mitglied einer Fischereigewerkschaft waren. Da für diese kein zentrales Register existierte, aus denen eine Stichprobe gezogen hätte werden können, wurden diese Taucher als *convenience sample*<sup>113</sup> (dt. „willkürliche Stichprobe“) im Hafen oder in ihren Häusern zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Auf diese Weise konnte ein Großteil der aktiven Taucher angesprochen werden. Da unklar ist, wie viele Muscheltaucher tatsächlich in Carelmapu aktiv sind und zudem keine Taucher untersucht werden konnten, die, möglicherweise aufgrund von tauchbedingten Schäden, nicht mehr als solche tätig waren (potenzieller Selektionsbias als sogenannter *healthy worker effect*<sup>8</sup>), kann die Repräsentativität des Untersuchungskollektivs nicht zuverlässig abgeschätzt werden.

Interessant wäre weiterhin die Einbeziehung einer Kontrollgruppe gewesen, um beispielsweise die Aufmerksamkeitsleistung der Taucher mit denen der Fischer des Dorfes zu vergleichen. Auf diese Weise könnten die Ergebnisse der kognitiven Testung besser im Verhältnis zum Gesamtfaktor „Berufliche Tätigkeit als Taucher“ und nicht nur zu den einzelnen Tauchfaktoren betrachtet und interpretiert werden. Aus organisatorischen Gründen ließ sich ein solches Design in der vorliegenden Studie nicht verwirklichen, es soll jedoch in einer geplanten Folgeuntersuchung umgesetzt werden (Kapitel 5.2.8).

### 5.1.2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2

Insgesamt umfasst die „kognitive Leistungsfähigkeit [...] Prozesse und Fähigkeiten der Aufmerksamkeit, der Gedächtnisbildung und der sogenannten Exekutivfunktionen.“<sup>IX</sup> Vorangegangene Studien zu neurokognitiven Tauchschäden bedienten sich verschiedenster Instrumente, um einzelne Funktionen der kognitiven Leistungsfähigkeit zu erfassen; wie Kowalski et al. (2011) die Reaktionszeit als Exekutivfunktion<sup>62</sup> oder wie Hemelryck et al. (2014) und Bast-Pettersen et al. (2015) mehrere der genannten Aspekte mittels einer Reihe von Testungen einschließlich des Kurzzeitgedächtnisses<sup>12, 53</sup>. Wir entschieden uns für die Messung der Aufmerksamkeit, da sie eine Grundvoraussetzung für die anderen höheren kognitiven Funktionen und Gedächtnisprozesse darstellt<sup>54</sup>. Auch gaben 84% der von uns befragten Taucher an, während ihrer Tauchgänge „immer“ ein hohes oder sehr hohes Aufmerksamkeitsniveau aufrechterhalten zu müssen. Der Test d2, der ursprünglich ein verkehrspsychologisches Instrument zur Feststellung der Kraftfahreignung<sup>108</sup> war, stellt das in Deutschland meistverwendete Instrument zur Messung der Aufmerksamkeit dar<sup>110</sup>. „Standardisierte Instruktionen und klare Auswertungsrichtlinien [...] [gewährleisten] eine hohe Durchführungs- und Auswertungsobjektivität“<sup>X</sup> und seine große Reliabilität und Validität sind gut belegt<sup>27</sup>. Weiterhin liegt der Test d2 im Gegensatz zu anderen hierzulande verbreiteten Instrumenten zur Quantifizierung der Aufmerksamkeit, etwa dem „Frankfurter Aufmerksamkeits-Inventar (FAIR)“ nach Moosbrugger und Oehlschlägel oder dem „Konzentrations-Verlaufs-Test (KVT)“ nach Abels<sup>63</sup>, in einer spanischsprachigen und an einer spanischen Population genormten Version vor, was eine aussagekräftigere Interpretation der Ergebnisse ermöglichte<sup>82</sup>. Ein weiterer Vorteil des Tests d2 bestand darin, dass er innerhalb von nur etwa 10 Minuten durchzuführen ist<sup>27</sup>, während beispielsweise der in spanischer Sprache verfügbare „*Test Of Variables of Attention (T.O.V.A)*“ nach Greenberg mehr als doppelt so viel Zeit in Anspruch nimmt<sup>3</sup>. Unter Verwendung des Tests d2 konnten daher mehr Taucher pro Tag untersucht werden, und der einzelne Proband musste weniger Zeit aufwenden, was sich positiv auf die Compliance der Probanden ausgewirkt haben könnte. Zudem sind zur Durchführung des Tests d2 neben den Testbögen nur ein Stift und eine Stoppuhr notwendig, was die Durchführung erleichterte. Andere Aufmerksamkeitstests, etwa „*Conners' Performance Test II (CPT-II)*“<sup>118</sup>, der „*Attention Network Test (ANT)*“<sup>30</sup> nach Fan und Posner oder der „*T.O.V.A*“<sup>3</sup> benötigen zur ihrer Durchführung einen Computer.

---

<sup>IX</sup>Hemmeter, 2007, S. 686 <sup>54</sup>

<sup>X</sup>Brähler, Holling, 2002, S. 302<sup>20</sup>



Als problematisch stellte sich der vergleichsweise hohe Anteil an Analphabeten und Muscheltauchern heraus, die trotz eines Hinweises im Rahmen der Einladung ihre Seehilfe nicht zur Untersuchung mitbrachten. 28% (n=37) der insgesamt 134 befragten Taucher mussten daher vom Test d2 ausgeschlossen werden. Dies wirkte sich insofern negativ auf die Studienergebnisse aus, als dass es zum einen die statistische Power einschränkte, zum anderen weniger gebildete Taucher in der Studienpopulation unterrepräsentiert waren.

### 5.1.3 Fragebogen

Die Items des 8-seitigen Fragebogens wurden zum größten Teil aus validierten Instrumenten vorangegangener Studien entnommen<sup>16, 33, 70, 98</sup>, die in Einzelfällen in Abstimmung mit Experten des IST („*Instituto de Seguridad del Trabajo*“)<sup>XI</sup> angepasst wurden.

Damit der Fragebogen auch von der Gruppe der Analphabeten und Tauchern ohne Seehilfe beantwortet werden konnte, wurden die Fragen den Studienteilnehmern vorgelesen und ihre Antworten vom Untersucher auf dem Bogen notiert. Zur Vermeidung eines *interviewer bias*<sup>8</sup>, also einer Verzerrung der Ergebnisse durch unterschiedliche Frage-technik der Untersucher, wurden die Fragen dabei im Wortlaut abgelesen. Die beiden Untersucher stimmten ihre Interviewtechnik dabei im Vorfeld detailliert ab. Die Verständlichkeit der Items des Fragebogens sowie die Interviewtechnik wurden zudem in einem Pretest mit 2 Tauchern vor Beginn der Datenerfassung überprüft und optimiert.

Einen schwierig zu beeinflussenden Faktor bei direkten Interviews stellt die soziale Erwünschtheit bestimmter Antworten dar (*social desirability bias*<sup>73</sup>). Die Antworten auf einige Fragen, beispielsweise der Alkohol- und Depressions-Scores, könnten von internalisierten gesellschaftlichen Verhaltenserwartungen beeinflusst sein, andere auch von konkreten Motiven in der Befragungssituation, etwa als Prahlerei mit übertriebenen Angaben zur Tauchtiefe. Gerade bezüglich dieses Punktes ist auch eine Verfälschung in die andere Richtung denkbar, da das Tauchen in den abgefragten Tauchtiefen ab der Kategorie „30-50 Meter“ gesetzeswidriges Verhalten darstellt und theoretisch strafbar ist. Es ist aber nicht zu erwarten, dass unkorrekte Angaben systematisch, sprich in Abhängigkeit vom *Outcome*, erfolgten. Somit würde dieses Antwortverhalten zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Zusammenhangs führen.

---

<sup>XI</sup> „Institut für Arbeitssicherheit“ (eine chilenische Berufsgenossenschaft)

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

### 5.2.1 Selektionsbias

37 (28%) der 134 Muscheltaucher, die den Fragebogen bearbeiteten, konnten nicht am Test d2 teilnehmen. Beim Vergleich der Teilnehmer mit den Nichtteilnehmern des Tests fiel auf, dass letztere statistisch signifikant älter waren, über weniger Schulbildung verfügten und häufiger Sehbeschwerden angaben. Man kann vermuten, dass eingeschränktes Sehvermögen und höheres Alter häufiger zu einem Ausschluss führten, weil die Taucher die Zeichen des Tests optisch nicht erkennen konnten. Auch Analphabetismus stellte ein häufiges Ausschlusskriterium dar. 92% (n=34) der Nichtteilnehmer verfügten höchstens über eine Grundschulausbildung, gegenüber 54% (n=52) der Teilnehmer und 30% im chilenischen Landesdurchschnitt<sup>92</sup>. Dies mag eine Ursache für die erhöhte Rate an Analphabeten darstellen, deren Anteil in Chile insgesamt nur 3% beträgt (2012)<sup>130</sup>.

Bezüglich der Tauchtiefe und der Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Teilnehmern und Nichtteilnehmern des Tests d2. Man darf daher vermuten, dass sich Zusammenhänge, die bei der Auswertung der kognitiven Testung der Teilnehmer gewonnen wurden, auch auf die Nichtteilnehmer übertragen lassen.

Leider lagen von den Nichtteilnehmern an der Fragebogenuntersuchung keine Daten vor, so dass ein Bias durch selektive Nichtteilnahme, beispielsweise im Rahmen eines *healthy worker effects* (siehe Kapitel 5.1.1), nicht abgeschätzt werden kann.

### 5.2.2 Subjektive Beschwerden bezüglich „Vergesslichkeit und Konzentrationschwäche“

In der hier vorliegenden Studie gaben 5% der Teilnehmer Vergesslichkeits- und Konzentrationsdefizite an. Dies sind deutlich weniger als in den Fragebogenuntersuchungen an Berufstauchern aus Norwegen 1990<sup>125</sup> und Großbritannien 2004<sup>70</sup> (Tabelle 11).

**Tabelle 11: Vergleich der Ergebnisse zu Vergesslichkeit und Konzentrationsschwäche bei Berufstauchern dieser Studie mit Todnem et al. (1990) und Macdiarmid et al. (2004)**

Studie	Studienteilnehmer	Anteil mit Beschwerden bezüglich Vergesslichkeit und Konzentrationschwäche	Nicht exponierte Vergleichsgruppe
		%	%
Todnem et al. 1990 <sup>125</sup> (Norwegen)	156 Berufstaucher / 100 nicht-tauchende Arbeiter	21% *	- **
Macdiarmid et al. 2004 <sup>70*</sup> (Großbritannien)	1540 Berufstaucher / 1035 Offshore-Arbeiter	18% ***	6% ***#
Vorliegende Studie	134 Muschelstaucher**	5% ***	-

\* Taucher, die „moderate“ bzw. „extreme“ Vergesslichkeit oder Konzentrationsschwäche angaben (verwendet wurde diese Frage aus dem Fragebogen von Macdiarmid et al.)

\*\* Wert nicht in der Veröffentlichung enthalten

\*\*\* Teilnehmer und Nichtteilnehmer des Tests d2, die „moderate“ bzw. „extreme“ Vergesslichkeit oder Konzentrationsschwäche angaben

#p<sub>Chi2</sub> im Vergleich zur Gruppe der Taucher <0,001

Für die deutliche Differenz zwischen der Prävalenz der Beschwerden bei den europäischen und den chilenischen Tauchern, deren Leistungswerte in der Testung gleichzeitig schlecht ausfielen, können verschiedene Ursachen in Betracht gezogen werden.

Zum einen ist das Arbeitsumfeld der Taucherpopulationen nicht gleichzusetzen. In der Offshore-Industrie der Nordsee wird teilweise mit Techniken wie Sättigungstauchen gearbeitet, also dem Verbleiben unter Druck über mehrere Tage mit einer finalen ausgedehnten Dekompression. In einer Anschlussstudie an die oben genannte britische Untersuchung fand man heraus, dass die in der Psychometrie objektivierbaren Beschwerden signifikant mit solchen Techniken assoziiert waren<sup>122</sup>. Die grundsätzlichen Belastungen durch Kompression und Dekompression sind allerdings bei allen Berufstauchern prinzipiell ähnlich.

Weiterhin können kulturelle Differenzen eine Rolle spielen. Es ist hinlänglich belegt, dass die in verschiedenen Ländern unterschiedliche Einschätzung bezüglich der Schwere einer Verletzung oder deren Konsequenzen in der Population einen signifikanten Einfluss auf die Prävalenz und Symptomausprägung haben kann<sup>40, 41, 77</sup>. Man kann hier über eine eventuell erhöhte *awareness*<sup>136</sup> (dt. „Gewahrsein“) der europäischen Taucher gegenüber möglichen Langzeitfolgen symptomatischer und möglicher subklinischer DCI-Ereignisse spekulieren, da diese generell besser ausgebildet sind und wahrscheinlich über mehr Wissen bezüglich diskutierter Langzeitfolgen verfügen als die chilenischen Muscheltaucher.

Als dritter Punkt muss beachtet werden, dass sich bezüglich möglicher Tauchschäden ein grundsätzlicher Interessensunterschied zwischen den angestellten Nordseetauchern und den zumeist selbstständigen Muscheltauchern ergibt. Die Ergebnisse mehrerer Studien konnten zeigen<sup>15, 60</sup>, dass allein die Existenz von Entschädigungszahlungen für Gesundheitsschäden einen Einfluss auf die subjektive Gesundheit von Betroffenen haben kann<sup>104</sup>. Die teilnehmenden Taucher in den europäischen Studien könnten bewusst oder unbewusst ihre Beschwerden aggraviert haben, wenn sie sich im Rahmen einer möglichen Anerkennung kognitiver Schäden als tauchbedingte Berufskrankheit finanzielle Vorteile erhofften. Dieser Anreiz fehlt für die untersuchten chilenischen Taucher. Eher das Gegenteil trifft zu: In Studien über selbstständige Berufstaucher auf den Galapagos-Inseln<sup>139</sup> und in Australien<sup>141</sup> zeigte sich, dass diese Angaben zu Inzidenz und Schwere der Dekompressionserkrankung tendenziell untertrieben. Die Autoren nahmen an, die Taucher befürchteten eine Einschränkung ihrer Aktivität und negative Auswirkungen für ihr Einkommen, falls sie das tatsächliche Ausmaß offenlegten<sup>141</sup>. Für die Muscheltaucher Carelmapus könnte man eine ähnliche Motivation vermuten, langfristige Tauchschäden wie Konzentrationsmängel zurückhaltend zu offenbaren. Gleichermassen sollten vor diesem Hintergrund die im Folgenden diskutierten Angaben der Taucher zu den von ihnen erlebten DCI-Episoden als eher konservativ angesehen werden.

### **5.2.3 Bedeutung der mäßig erhöhten Werte der Schwankungsbreite**

Die Schwankungsbreite (SB) stellt laut Brickenkamp et al. (2002) ein Mittel dar, die Konstanz der Leistung einer Testperson zu ermitteln. Sehr hohe Werte können auf fehlende Motivation des Probanden hinweisen, wenn er beispielsweise die ersten Testzeilen mit sehr guten Leistungen beginnt und im Verlauf ungewöhnlich stark abfällt. Eine

große Schwankungsbreite entspricht dabei einer mangelnden Konstanz<sup>21</sup>. Im Vergleich zu den auffallend schlechten Resultaten für den Gesamtleistungswert (GZ-F) und den Konzentrationsleistungswert (KL) bewegte sich die Schwankungsbreite der von den Muscheltauchern erzielten Ergebnisse mit einem Median auf der 70. Perzentile der spanischen Norm auf mäßig erhöhtem Niveau. Die Werte waren dabei breiter verteilt als die beiden anderen betrachteten Kennwerte. Dies lässt sich dahingehend interpretieren, dass fehlende Motivation bei einigen Tauchern ein Problem dargestellt haben könnte, im Mittel jedoch nicht zu einer Verfälschung der Werte führte. Dies dürfte sich positiv auf die Validität der Testergebnisse ausgewirkt haben. Zu beachten ist, dass die Schwankungsbreite zu den weniger reliablen Werten des Tests d2 zählt, unter anderem, weil die Motivation der Probanden tagesabhängig schwanken kann. Er ist somit in erster Linie für die jeweilige Untersuchung zu interpretieren und nicht als Leistungswert heranzuziehen<sup>6, 26</sup>.

#### **5.2.4 Ergebnisse des Tests d2 im Vergleich zu anderen Studien, die sich dieses Tests bedienen**

Da keine chilenischen Normtabellen für die Auswertung des Tests d2 existieren, musste auf spanische Tabellen zurückgegriffen werden. Hierbei lagen die Ergebnisse der Muscheltaucher auf der 10. Perzentile für Gesamtleistungswert (GZ-F) und Konzentrationsleistungswert (KL) und somit auf sehr niedrigem Niveau. Auch Probanden einer argentinischen Untersuchung, 1001 Teilnehmer eines Verkehrssicherheitstrainings in der Stadt Mendoza, schnitten für beide Kennwerte statistisch signifikant schlechter ab als die spanische Norm (GZ-F -21,53; KL -17,64; SB -1,16; jeweils  $p_{\text{Student-T}} < 0,01$ )<sup>72</sup>. Laut der Autorin dieser Studie könnten unter anderem soziokulturelle Faktoren eine Ursache für dieses Ergebnis darstellen. Aufgrund der engeren kulturellen Verwandtschaft der chilenischen mit der argentinischen Bevölkerung ist ein Vergleich unserer Ergebnisse mit denen der genannten Studie interessant. Sowohl in der argentinischen als auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte sich eine Abnahme der Aufmerksamkeitsleistung mit zunehmendem Alter<sup>21, 72</sup>. Dabei lag der Mittelwert der Muscheltaucher für den Gesamtleistungswert (GZ-F) und den Konzentrationsleistungswert (KL) allerdings in jeder Altersklasse unterhalb desjenigen der Studienteilnehmer aus Mendoza. Sogar die 18- bis 29-jährigen Taucher schnitten mit einem Gesamtleistungswert von im Mittel 350,4 Punkten schlechter ab als selbst die 50 bis 59-Jährigen aus Mendoza mit 355,2 Punkten

(Tabelle 12). Zwar muss aufgrund der bestehenden soziokulturellen Unterschiede, etwa der Nationalität und dem Leben in der Stadt beziehungsweise dem Dorf, von einem Einfluss dieser Faktoren ausgegangen werden, dennoch unterstreicht der Vergleich das schlechte Abschneiden der Muscheltaucher.

**Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse des Tests d2 der Muscheltaucher Carelmapus und von Teilnehmern eines Verkehrssicherheitstrainings in der argentinischen Stadt Mendoza nach Altersklassen**

		GZ-F	KL	SB
		Mittelwert (SD)		
18-29 Jahre	Carelmapu	350,4 (92,1)	129,1 (42,2)	18,7 (6,3)
	Mendoza	417,1 (75,8)	166,1 (34,8)	13,0 (5,3)
30-39 Jahre	Carelmapu	342,5 (53,9)	119,5 (25,6)	17,5 (6,3)
	Mendoza	404,7 (77,3)	159,5 (36,5)	13,1 (5,3)
40-49 Jahre	Carelmapu	306,0 (62,7)	91,4 (38,1)	20,7 (9,8)
	Mendoza	364,7 (82,3)	139,6 (39,4)	14,6 (7,3)
50-59 Jahre*	Carelmapu	269,0 (90,0)*	86,7 (45,2)*	16,0 (7,1)*
	Mendoza	355,2 (82,2)	130,4 (43,4)	13,9 (6,9)
60-69 Jahre*	Carelmapu	269,0 (90,0)*	86,7 (45,2)*	16,0 (7,1)*
	Mendoza	316,4 (81,3)	106,6 (42,8)	16,6 (10,0)

\*Für die Muscheltaucher aus Carelmapu Altersklasse „≥50 Jahre“

GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2; KL=Konzentrationsleistungswert; SB=Schwankungsbreite

Soweit dem Autor der vorliegenden Arbeit bekannt, wurden bislang keine Studien veröffentlicht, in denen der Test d2 zur Untersuchung der Langzeiteffekte des Tauchens eingesetzt wurde. Zur Diagnostik von Aufmerksamkeitsdefiziten in Folge anderer potentiell neurotoxischer Faktoren stellt der Test d2 hingegen seit Jahrzehnten ein wissenschaftliches Standardinstrument dar<sup>24, 87, 109, 127</sup>. Pfister et al. (1999) verwendeten den Test, um die kognitiven Folgen langjähriger beruflicher Exposition gegenüber Blei und organischen Lösungsmitteln zu untersuchen<sup>97</sup>. Im Vergleich zur Kontrollgruppe erzielten die Schadstoffexponierten hierbei statistisch signifikant niedrigere Konzentrationsleistungswerte ( $p_{\text{Blei-Kontrollgruppe}} 0,02$ ;  $p_{\text{Lösungsmittel-Kontrollgruppe}} 0,06$ ). Eine Dosis-Wirkungs-Beziehung in Abhängigkeit von der individuellen Exposition ließ sich nicht bestätigen. Die Ergebnisse lassen sich sicher nicht direkt mit denen der vorliegenden Studie vergleichen, da es sich um sehr unterschiedliche Studienpopulationen handelt. Allerdings zeigt das Ergebnis zum einen, dass der Test geeignet ist, neurotoxische Langzeiteffekte aufzudecken und verdeutlicht zum anderen erneut das niedrige Leistungsniveau der teilnehmenden Muscheltaucher (Tabelle 13). Auch in diesem Vergleich schneiden die chilenischen Muscheltaucher deutlich schlechter ab.

**Tabelle 13: Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung für den Konzentrationsleistungswert KL der Muscheltaucher Carelmapus mit den Teilnehmern einer deutschen Studie zur Untersuchung der Folgen langjähriger beruflicher Exposition gegenüber Blei und organischen Lösungsmitteln**

	Vorliegende Studie	Pfister et al. 1997 <sup>97</sup>		
	Muscheltaucher	Bleiexponierte	Lösungsmittel-exponierte	Kontrollgruppe
KL	101,3 ± 41,8	141,6 ± 28,2	134,6 ± 35,7	159,8 ± 29,8

KL=Konzentrationsleistungswert

### 5.2.5 Risikofaktoren für die Entwicklung kognitiver Defizite

Die Studie konnte die Tauchtiefe als den nach dem Alter stärksten Risikofaktor für Aufmerksamkeitsdefizite der Muscheltaucher identifizieren. Der Gesamtleistungswert des Tests d2 der Taucher, die angaben, „oft“ in 30-50 Meter Tiefe bzw. „gelegentlich“ oder „oft“ in mehr als 50 Metern Tiefe zu tauchen, war statistisch signifikant niedriger als derjenige von Tauchern, die in geringeren Tiefen arbeiteten. In der für Tauchjahre und „Tauchgänge pro Woche“ adjustierten multiplen logistischen Regression ergab sich eine *odds ratio* von 2,5 (95% Konfidenzintervall 1,0 – 5,8). Die Analyse des Zusammenhangs zwischen einer von uns konzipierten Tauchtiefensumme (Gewichtung der Tauchhäufigkeit in den verschiedenen Tiefen) und den Ergebnissen des Tests d2 bestätigte diesen Zusammenhang. Auch fanden sich hier Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung. Dass der Effekt in einem weiteren linearen Modell zum Gesamtleistungswert und für den Konzentrationsleistungswert trotz entsprechender Anhaltspunkte in der Sensitivitätsanalyse nicht so klar zu Tage tritt, könnte fehlender statistischer Power geschuldet sein.

Die Bedeutung der Tauchtiefe hinsichtlich möglicherweise tauchbedingten Langzeitschäden des Gehirns hatten einige der in der Einleitung erwähnten Studien schon für europäische Taucherpopulationen ohne Episoden der DCI in der Vorgeschichte gefunden. Slosman et al. (2004) zeigten bei der Untersuchung von 215 Freizeittauchern unter anderem einen signifikanten negativen Zusammenhang zwischen der Anzahl von Tauchgängen unterhalb von 40 Metern mit dem zerebralen Blutfluss sowie den Ergebnissen in mehreren kognitiven Leistungstests, unter anderem zur Aufmerksamkeit<sup>117</sup>. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Tetzlaff et al. (1999): Bei 20 erfahrenen Berufstauchern ergaben sich zum einen Hinweise auf eine Assoziation zwischen der tiefsten von ihnen erfassten Tauchtiefenkategorie „40-60 Meter“ und schlechterem Abschneiden bezüglich der kognitiven Flexibilität fest ( $p=0,06$ ) und zum anderen eine statistisch signifikante Korrelation dieser Kategorie mit Größe und Anzahl hyperintenser Läsionen im

MRT. Testergebnis und Morphologie waren hierbei untereinander nicht assoziiert<sup>123</sup> (Tabelle 2, Kapitel 1.3.2.2).

Die Studien von Tetzlaff et al. (1999) und Slosman et al. (2004) stellten somit eine Assoziation kognitiver Langzeitschäden mit dem Tauchen in ähnlichen Tiefenbereichen fest, wie es auch in der vorliegenden Studie der Fall war. Allerdings konnten sie im Unterschied zur dieser keine Hinweise auf eine Dosis-Wirkungsbeziehung finden. Dass sich der Effekt in der hier dargestellten Untersuchung klarer offenbart, stellt ein Alleinstellungsmerkmal der Studie dar. Die Tatsache, dass die Muscheltaucher Carelmapus im Vergleich zur spanischen Norm und anderen Untersuchungen, die sich des Tests d2 bedienten, sehr schlechte Leistungswerte erzielten, ließe sich im Sinne einer erhöhten Prävalenz kognitiver Defizite interpretieren. Diese könnte den Nachweis einer Assoziation zur Tauchtiefe mit Hilfe statistischer Tests vereinfacht haben. Generell kann angesichts schlechterer Sicherheitsbedingungen und einer erheblich höheren Unfallrate eine deutlich stärkere Belastung der chilenischen Muscheltaucher im Vergleich zu den europäischen Tauchern der oben genannten Studien vermutet werden.

### **5.2.6 Hinweise auf den zugrundeliegenden Pathomechanismus**

Auch wenn gastoxische Effekte diskutiert werden, gilt der Pathomechanismus der Dekompressionserkrankung als wahrscheinliche Ursache tauchbedingter Nervenzellschädigung und konsekutiver Einschränkung der kognitiven Leistungsfähigkeit<sup>115, 79, 31</sup>. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen berichteter DCI Typ I oder II und Aufmerksamkeitsdefiziten fand sich in der vorliegenden Studie jedoch nicht. Die bivariate Analyse zeigte, anders als zum Gesamtleistungswert GZ-F (OR 1,0; 95% CI 0,4 – 2,2; Abbildung 10; Tabelle 17 im Anhang), eine schwache Assoziation zwischen mindestens einmalig erlebten Symptomen einer DCI Typ II mit dem Konzentrationsleistungswert KL (2,2; 95% CI 0,9 – 5,1; Abbildung 15, Tabelle 19 im Anhang). Im logistischen Regressionsmodell mit Tauchjahren und Tauchtiefe allerdings erwies sich diese als statistisch nicht signifikant (OR 1,5 95% CI 0,6 – 3,9; Tabelle 24 im Anhang). Auch ein analoges lineares Regressionsmodell zeigte keine statistische Signifikanz einer berichteten DCI Typ II Symptomatik (p=0,38; Tabelle 25 im Anhang). Mangelnde statistische Power ist hier eine mögliche Erklärung, fehlende Validität der Fragebogenangaben eine andere.



Nachdem mehrere Untersuchungen seit den 1970er Jahren gezeigt hatten, dass symptomatische Episoden der neurologischen DCI zu kognitiven Schäden führen können<sup>96, 131</sup>, schlossen viele neuere Studien zu kognitiven Langzeitfolgen solche Taucher aus, die über diese Form der Dekompressionserkrankung in der Vorgeschichte berichteten<sup>53, 62, 117, 123</sup>. Studien, welche sie miteinbezogen, kamen zu uneinheitlichen Resultaten. Während Williamson et al. (1989) in einer Querschnittstudie bei australischen Berufstauchern eine Assoziation zwischen berichteten Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II und schlechterem Abschneiden in mehreren psychometrischen Tests, unter anderem zur Aufmerksamkeitsleistung, feststellten<sup>141</sup>, beobachteten Taylor et al. (2006) im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie keinen Einfluss vorangegangener DCI Typ II auf das Abschneiden in den Testungen<sup>122</sup>. In Bat-Pettersens et al. (2015) Longitudinalstudie zeigten solche Taucher, die eine oder mehr Episoden der Dekompressionserkrankung erlitten hatten, eine schlechtere Gedächtnisleistung, aber eine schnellere Reaktionszeit als die Kontrollen ohne DCI-Episode<sup>12</sup> (Tabelle 14).

**Tabelle 14: Epidemiologische Studien, die mögliche neurokognitive Folgeschäden des Tauchens an Tauchern mit und ohne DCI\* Typ II in der Vorgeschichte untersuchten**

Studie	Studienpopulation	Untersuchungsmethode	Ergebnis
<b>Williamson et al. 1989<sup>141</sup> (Australien)</b>	80 Berufstaucher	Psychometrische Testung, Fragebogen	Riskantes Tauchverhalten (Tiefes Tauchen, lange Tauchzeiten), höhere Inzidenz von DCI* Typ II und geringere kognitiver Leistungsfähigkeit untereinander assoziiert
<b>Taylor et al. 2006<sup>122</sup> (Großbritannien)</b>	102 Berufstaucher, die subjektiv über Vergesslichkeit und Mangel an Konzentration klagten / 100 Berufstaucher ohne Vergesslichkeit und Mangel an Konzentration / 100 Nichttaucher	Psychometrische Testung, Fragebogen	Milde Einschränkung der kognitiven Leistungsfähigkeit bei denjenigen Tauchern mit subjektiven Beschwerden, keine Assoziation zu DCI* Typ II in der Vorgeschichte
<b>Bast-Pettersen et al. 2015<sup>12</sup> (Norwegen)</b>	27 Berufstaucher ohne DCI*-Episode / 10 Berufstaucher mit DCI*-Episode	Psychometrische Testung, Fragebogen	Schlechtere Gedächtnisleistung, aber schnellere Reaktionszeit bei Tauchern mit DCI*-Episode

\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung)

In der vorliegenden Studie zeigte sich kein belastbarer Zusammenhang zwischen der Tauchtiefe („Tiefes Tauchen“ und Tauchtiefensumme) und der Dekompressionserkrankung.

kung (Tabellen 26 und 27 im Anhang). Dass Tauchen in großen Tiefen augenscheinlich nicht statistisch signifikant häufiger zu Dekompressionserkrankung Typ II, wohl aber zu schlechteren Ergebnissen in der kognitiven Testung führte, kann als Unterstützung der These<sup>123</sup> interpretiert werden, dass die Akkumulation asymptomatischer DCI-Ereignisse durch inapparente Bläschenbildung bei Tauchern zu kognitiven Defiziten führen kann. Dies ist für Muscheltaucher insofern von Bedeutung, als dass sie wissen sollten, dass sie die Abwesenheit von Episoden der Dekompressionserkrankung nicht sicher davor schützt, langfristig kognitive Defizite zu entwickeln, vor allem, wenn sie die gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Tauchtiefen nicht einhalten. Angesichts des anspruchsvollen und gefährlichen Arbeitsumfeldes unter Wasser könnten solche Defizite Unfälle begünstigen und somit potentiell tödliche Folgen haben.

### **5.2.7 Kohlenstoffmonoxid-Intoxikation als weiterer möglicher Pathomechanismus**

Neben der Dekompressionserkrankung wäre allerdings auch ein weiterer Pathomechanismus denkbar, der für Aufmerksamkeitsdefizite der Muscheltaucher verantwortlich sein oder zumindest zu ihnen beitragen könnte. Während der Datenerfassung wies eine Reihe von Tauchern darauf hin, vor allem dann unter Kopfschmerzen nach dem Tauchen zu leiden, wenn ihrer Einschätzung nach der Wind ungünstig stand und die Abgase des Luftkompressors in die Nähe des Lufteinzuges geweht wurden. Kontaminierte Atemluft, insbesondere mit Kohlenstoffmonoxid (CO), stellt eine bekannte Gefahr für Taucher dar<sup>78</sup>. Das geruchs- und geschmacklose Gas entsteht unter anderem bei der Verbrennung fossiler Kraftstoffe in Motoren und entfaltet seine Wirkung im Körper aufgrund seiner über 200-fach höheren Affinität zu Hämoglobin im Vergleich zu Sauerstoff. Die Folge ist eine vor allem kardio- und neurotoxische Gewebehypoxie<sup>99</sup>. Für Taucher in besonderem Maße gefährlich ist, dass sich der Partialdruck des Kohlenstoffmonoxids wie bei allen inerten Gasen direkt proportional zum Umgebungsdruck erhöht<sup>5</sup>. Atemluft, die mit der auf Meereshöhe kurzfristig ungiftigen Konzentration von 400 ppm („Teile pro eine Million“) CO kontaminiert ist, entfaltet in 30 Meter Tiefe, also unter 4 Atmosphären Druck, die Wirkung von mit  $(4 * 400 \text{ ppm} = )$  1600 ppm CO kontaminierter Luft, was hochgradig toxisch wirkt<sup>37</sup>. Oft wird der Effekt erst symptomatisch, wenn beim Auftauchen der Sauerstoffpartialdruck abfällt<sup>99, 37</sup>. Die akute neurokognitive Symptomatik ähnelt dabei in weiten Teilen derjenigen einer Dekompressionserkrankung Typ II: Kopfschmerzen, Schwindel, Verwirrung und Verlust der Orien-

tierung gehören zu den häufigsten Symptomen; im schlimmsten Fall verstirbt der Betroffene<sup>99, 144</sup>. Man vermutet daher eine Dunkelziffer an fälschlicherweise als DCI klassifizierten CO-Vergiftungen bei Tauchern<sup>5</sup>. Klinisch ist dies insofern wenig relevant, als dass sich die akute Therapie gleicht; die Inhalation hyperbaren Sauerstoffs in einer Druckkammer<sup>5, 55, 86</sup>. Tage bis Monate nach der akuten CO-Intoxikation<sup>99</sup> stellen sich bei über 30% der Betroffenen neurokognitive Folgeschäden ein<sup>39</sup>. Hierzu können Persönlichkeitsveränderungen und leichte kognitive Defizite zählen<sup>99</sup>, unter anderem Aufmerksamkeitsdefizite<sup>144</sup>, wie sie in der vorliegenden Studie mit dem Test d2 untersucht wurden. Darüber hinaus existieren Studien, die subakute CO-Intoxikationen bei Exposition gegenüber niedrigen Konzentrationen über Zeiträume von 24 Stunden bis hin zu Jahren beschreiben. Diese gingen im Vergleich zur akuten Vergiftung in erhöhtem Maße mit Erschöpfungs-Syndromen und kognitiven Einschränkungen einher<sup>86, 95</sup>. Auch wenn die Expositionszeiten der Muscheltaucher niedriger liegen, kann man ähnliche Mechanismen etwa in Form von Summationseffekten<sup>88</sup> bei den Tauchern nicht ausschließen, gerade in Anbetracht der besonderen Bedingungen durch die Kompression.

Aufgrund ihrer häufig technisch nicht einwandfreien Ausrüstung sind „einheimische Taucher“, die mit „hookah“-Equipment tauchen, generell besonders von CO-Vergiftungen bedroht. Studien bemängelten bei Tauchern auf den Galapagos-Inseln<sup>139</sup> und in Thailand<sup>47</sup> den häufig unzureichenden Schutz der Atemluft vor CO-Kontamination durch zu enge räumliche Nähe zwischen Abluft des Kompressors und dem Lufteinzug. Bei Untersuchungen der in den Schlauch gepumpten Atemluft aus vier Benzin-getriebenen Kompressoren in Thailand fand man bei drei von ihnen windabhängig schwankende Konzentrationen an CO zwischen 14 ppm bis 126 ppm (Durchschnitt: 70,1 ppm)<sup>47</sup>, was in 50 Meter Tiefe einer Höchstkonzentration von ( $6 \cdot 126 \text{ ppm} =$ ) 756 ppm entspricht. Zieht man zusätzlich in Betracht, dass die Taucher teilweise stundenlang unter Wasser blieben, so ergibt sich bei dieser Konzentration ein hohes Vergiftungsrisiko<sup>48, 120</sup>.

Die chilenischen Taucher sind von Rechtswegen verpflichtet, funktionsfähige CO-Filter im Luftansaugsystem zu verwenden<sup>32</sup>. Angesichts regelmäßiger Verstöße bezüglich anderer Vorschriften, wie der maximalen Tauchtiefe und der Verwendung von Dekompressionstabellen, sowie der Tatsache, dass einige Taucher selbst von Kopfschmerzen bei ungünstigem Wind berichteten, sollte man die Möglichkeit von CO-Intoxikationen bei den Muscheltauchern jedoch nicht ausschließen. Zumindest in einigen Fällen könnten die beobachteten Konzentrationsdefizite daher auch in der Folge von CO-

Vergiftungen entstanden sein. Die Assoziation zwischen der Aufmerksamkeitsleistung und der Tauchtiefe ließe sich auch durch diesen Pathomechanismus erklären.

### 5.2.8 Ausblick

In der vorliegenden Studie erzielten insbesondere diejenigen Taucher Carelmapu schlechtere Werte für die Aufmerksamkeitsleistung, die angaben, deutlich tiefer als die gesetzlich vorgeschriebene maximale Tauchtiefe von 20 Metern zu tauchen. Es fanden sich Hinweise auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Da berichtete Episoden der Dekompressionserkrankung weder statistisch signifikant mit der Aufmerksamkeit noch mit der Tauchtiefe assoziiert waren, kann man einen Mechanismus vermuten, der in vielen Fällen asymptomatisch abläuft. Die Resultate der Untersuchung könnten somit als Unterstützung der These interpretiert werden, dass inapparente Bläschenbildung zu kognitiven Schäden führen kann. Andere Pathomechanismen, etwa durch kompressionsbedingte Gastoxizität oder durch CO-Intoxikation, sind ebenfalls nicht auszuschließen.

Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass sich trotz entsprechender Hinweise in der Sensitivitätsanalyse die Assoziation mit der Tauchtiefe nur für den Gesamtleistungswert, nicht aber für den Konzentrationsleistungswert statistisch signifikant nachweisen ließ. Die angedeutete Dosis-Wirkungsbeziehung war für beide Leistungswerte nicht statistisch signifikant. Eine mögliche Ursache könnte eine unzureichende statistische Power bei zu geringer Teilnehmerzahl darstellen.

Voraussichtlich im Mai 2017 wird daher vonseiten des „Centers for International Health“ der LMU München eine größere Anschlussstudie begonnen werden. In die Studienpopulation sollen 250 Muscheltaucher aus Carelmapu und aus umliegenden chilenischen Dörfern eingeschlossen werden, welche unter ähnlich prekären Bedingungen tauchen wie diese<sup>4</sup>. Als Kontrollgruppe sollen zudem 250 nicht-tauchende Fischer aus den gleichen Orten untersucht werden. Hierbei wird die Tauchtiefe durch den Abgleich mit maritimen Karten und teilweise mithilfe von Tauchcomputern validiert werden. Der Vergleich mit der nicht-tauchenden Kontrollgruppe könnte überdies helfen abzuschätzen, ob die Tätigkeit als Muscheltaucher unter den örtlichen Bedingungen generell mit einem erhöhten Risiko zur Entwicklung kognitiver Defizite einhergeht. Neben der Aufmerksamkeit sollen weitere höhere kognitive Funktionen wie die Gedächtnisleistung und Exekutivfunktionen gemessen werden. Um möglicherweise interferierende

Kohlenstoffmonoxid-Intoxikationen auszuschließen, ist geplant, bei einer Stichprobe von Tauchern und nicht-tauchenden Fischern mittels Atemtests Konzentrationsmessungen des Gases durchzuführen. Diese umfangreiche Studie ist somit geeignet, anhand einer größeren Studienpopulation, verbesserter Expositionsabschätzung und unter Einschluss einer nicht-exponierten Vergleichsgruppe die kognitiven Defizite der Muscheltaucher umfassender zu analysieren und hat Potenzial, deren Ursachen zu identifizieren.

In Abhängigkeit von den Ergebnissen dieser Untersuchung wären zudem weitere Studien denkbar, etwa mittels Bildgebung. So könnte mithilfe von MRT-Untersuchungen geklärt werden, ob sich auch bei den Muscheltauchern signifikant vermehrt die hyperintensen Läsionen feststellen lassen, die andere Studien<sup>38, 102,128</sup> im Gehirn langjähriger Taucher nachwiesen. Wäre dies der Fall, so könnte überprüft werden, ob sich angesichts des vermuteten vermehrten Dekompressionsstresses bei den Tauchern Carelmapus eine Assoziation zwischen schlechterer kognitiver Leistung und den Läsionen offenbart. Eine solche hatte sich in den europäischen Studien nicht zeigen lassen<sup>29, 123</sup>. Diese Untersuchungen sind allerdings vor Ort äußerst schwer umzusetzen, da sich das nächste verfügbare MRT im 95 Kilometer entfernten Puerto Montt befindet. Leichter zur realisieren wären Ultraschalluntersuchungen. Mittels solchen könnte untersucht werden, ob beispielsweise speziell solche Taucher von kognitiven Einschränkungen betroffen sind, bei denen wegen eines persistierenden Foramen ovale ein erhöhtes Risiko für das Vorkommen von paradoxen Makro- und Mikroembolien vorliegt<sup>37</sup>. Wäre dies der Fall, so wäre das ein Hinweis auf die Dekompressionserkrankung als zugrundeliegender Pathomechanismus. Je nachdem ob in der Vorgeschichte entsprechende Beschwerden aufgetreten wären oder nicht, könnte auf symptomatische oder subklinische Formen der DCI als vermutliche Ursache geschlossen werden. Gegebenenfalls wäre auch eine prospektive Studie denkbar, in der Tauchtiefen und andere Risikofaktoren genauer erfasst und kognitive Leistungswerte regelmäßig quantifiziert werden könnten.

Um die Sicherheit der chilenischen Muscheltaucher zu verbessern, erscheinen des Weiteren Anpassungen vor Ort geboten. Bezüglich Ausbildung und Ausrüstung der Taucher, etwa dem Schutz der Atemluft vor CO-Kontamination und der schnellen Verfügbarkeit 100-prozentigen Sauerstoffes bei Unfällen, besteht Handlungsbedarf. Angesichts des prognoseverbessernden Effekts sofortiger Sauerstoff-Inhalation nach Tauchunfällen<sup>69</sup> ist das Vorhandensein entsprechender Technik auf allen Tauchbooten dringend notwendig und sollte kontrolliert werden. Zudem sollte den Tauchern in der Ausbildung

und in Schulungen das Risiko langfristiger Hirnschädigung vor allem bei tiefen Tauchgängen vermittelt werden. Weiterhin sollte in Anbetracht der in der vorliegenden Studie festgestellten Defizite sichergestellt werden, dass die Taucher den Umgang mit den Dekompressionstabellen sicher beherrschen, beispielsweise im Rahmen obligatorischer „Auffrischkurse“.

Als zweifellos problematisch stellt sich dar, dass sich die Bestände lukrativer Meeresfrüchte häufig in größeren Tiefen befinden als die erlaubten 20 Meter. Hier wäre eine Anpassung der gesetzlichen Bestimmungen wünschenswert: Um in solchen Tiefen legal und sicher tauchen zu können, ist, wie im Methodikteil detaillierter beschrieben (Kapitel 3.1.1), in Chile eine fortgeschrittene Tauchlizenz und eine deutlich aufwändigere Tauchausrüstung vorgeschrieben. Durch derartige Maßnahmen, etwa dem obligatorischen Mitführen einer kleinen Pressluftflasche, die es dem Taucher erlauben soll, im Falle einer defekten Luftversorgung von der Oberfläche, sicher und nicht zu schnell aufsteigen zu können, ließe sich vermutlich ein Teil der Tauchunfälle und eventuell auch der langfristigen Gesundheitsschäden reduzieren. Fraglich ist allerdings, ob Anschaffung und Wartung der gesamten für die nächsthöhere Lizenz notwendigen Ausrüstung, die bis dato in erster Linie bei Wartungstauchern in Aquakulturen zum Einsatz kommt, für die Muscheltaucher finanziell tragbar wäre. Dies darf angesichts der überschaubaren Gewinnmargen (geringes Einkommen der Taucher vgl. Tabelle 5) bezweifelt werden. Zudem erscheint gegebenenfalls nicht die gesamte, für die fortgeschrittene Lizenz notwendige Ausrüstung für die Arbeit der Muscheltaucher zwingend notwendig, etwa eine ständige Sprechverbindung mit der Bootsbesatzung. Eine mögliche Lösung könnte die Schaffung einer Zwischenstufe der bisherigen Tauchlizenzen darstellen. Für Muscheltaucher, die tiefer als die bislang erlaubten 20 Meter tauchen wollen, könnte sie neben einer verbesserten Ausbildung auch eine fortgeschrittene Ausrüstung vorschreiben, wie das Mitführen einer kleinen Pressluftflasche oder zuverlässigere „hookah“-Anlagen. Ein entsprechendes Konzept könnte in Zusammenarbeit der zuständigen Behörde mit den Muscheltauchern erarbeitet werden.

## 6 Zusammenfassung

Inwiefern es im Verlauf einer Taucherkarriere zu kognitiven Schäden kommen kann, ist bislang nicht gänzlich verstanden. Können nach schweren Episoden der Dekompressionserkrankung anerkanntermaßen Beeinträchtigungen zurückbleiben, mehrten sich zudem Hinweise auf Schäden durch chronische subklinische Akkumulationseffekte. Weltweit arbeiten zehntausende „einheimische Taucher“, beispielsweise Muscheltaucher, unter oft schlechten Sicherheitsbedingungen. Sie könnten besonders gefährdet sein, kognitive Folgeschäden zu entwickeln. Die hier vorgestellte Querschnittstudie der Aufmerksamkeitsleistung von Muscheltauchern im Süden Chiles sollte einen derartigen Effekt untersuchen, mögliche Risikofaktoren identifizieren und klären, ob und in welcher Form vor Ort Interventionen umgesetzt werden sollten, um die Taucher vor Hirnschäden zu schützen.

Die Muscheltaucher des Dorfes Carelmapu wurden individuell zu der Studie eingeladen und mithilfe eines umfangreichen Fragebogens und einer psychometrischen Testung mittels des „Aufmerksamkeits-Belastungs-Tests d2“ untersucht.

Von den 231 angesprochenen Tauchern nahmen 134 teil (58%), von denen 97 psychometrisch getestet werden konnten. 47% von ihnen gaben an, „oft“ tiefer als 30 Meter oder mindestens „gelegentlich“ tiefer als 50 Meter zu tauchen („Tiefes Tauchen“). Die Ergebnisse des Tests d2 lagen deutlich unterhalb des erwarteten Niveaus. Es zeigte sich eine in der multivariaten Analyse statistisch signifikante Assoziation zwischen dem Faktor „Tiefes Tauchen“ und dem Abschneiden im Test d2 unterhalb des Medians der Teilnehmer (Adjustierte *odds ratio*: 2,5; 95% Konfidenzintervall: 1,0–5,8). In der multiplen linearen Regression ergab sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung (Adjustiertes  $\beta$ : -3,76;  $p=0,04$ ). Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II, von denen 65% der Taucher berichteten, standen in keiner statistisch signifikanten Relation zu Tauchtiefe oder Aufmerksamkeitsleistung.

Diese Befunde lassen sich dahingehend interpretieren, dass die Tauchtiefe über einen teilweise subklinisch ablaufenden Mechanismus schädigend wirken könnte. Denkbar wäre die Akkumulation asymptomatischer Episoden der Dekompressionserkrankung. Eine größere Anschlussstudie mit nicht-tauchender Kontrollgruppe und zur Untersuchung weiterer kognitiver Funktionen sowie zum Ausschluss interferierender Kohlenstoffmonoxid-Intoxikationen ist geplant. Vor Ort sollten Interventionen im Sinne einer verbesserten Ausbildung und Ausrüstung der Taucher durchgeführt werden.

## 7 Literaturverzeichnis

1. OpenStreetMap Deutschland: Karte. <http://www.openstreetmap.de/karte.html>. Accessed February 15, 2014.
2. *U. S. navy diving manual*. Revision 6. Washington, D.C: Naval Sea Systems Command; 2008.
3. Introducing the Test of Variables of Attention (T.O.V.A.®). <http://www.tovatest.com/>. Updated July 25, 2015. Accessed September 7, 2015.
4. Aguilar Gallardo I, Calvo MJ. Vivenciando el trabajo de los buzos mariscadores que han sufrido un accidente. *Index Enferm*. 2005;14(50):10-14.
5. Allen H. Carbon monoxide poisoning in a diver. *Arch Emerg Med*. 1992;9(1):65-66.
6. Amelang M, Schmidt-Atzert L. *Psychologische Diagnostik und Intervention*. 4., vollst. überarb. und erw. Aufl. Heidelberg: Springer; 2006.
7. Arntzen KA, Schirmer H, Wilsgaard T, Mathiesen EB. Impact of cardiovascular risk factors on cognitive function: the Tromso study. *Eur J Neurol*. 2011;18(5):737-743.
8. Aschengrau A, Seage GR. *Essentials of epidemiology in public health*. Third edition. Burlington: Jones & Bartlett Learning; 2013.
9. Balestra C. *PFO and the diver: Patency of cardiac foramen ovale : a risk factor for dysbaric disorders?* Flagstaff, AZ: Best Pub. Co; 2007.
10. Balestra C. An Introduction to Clinical Aspects of Decompression Illness (DCI). In: Lang MA, Brubakk AO, Haldane JS, Boycott AE, eds. *The future of diving: 100 years of Haldane and beyond*. Washington, D.C: Smithsonian Institution Scholarly Press; 2009. *A Smithsonian contribution to knowledge*.
11. Barsky SM, Neuman TS. *Investigating recreational and commercial diving accidents*. 1st ed. Ventura, Calif.: Hammerhead Press; 2003.
12. Bast-Pettersen R, Skare Ø, Nordby K, Skogstad M. A twelve-year longitudinal study of neuropsychological function in non-saturation professional divers. *International archives of occupational and environmental health*. 2015;88(6):669-682.
13. Bates ME, Lemay EP. The d2 Test of attention: construct validity and extensions in scoring techniques. *J Int Neuropsychol Soc*. 2004;10(3):392-400.
14. Baur X, Budnik LT. *Arbeitsmedizin*. Berlin [u.a.]: Springer Medizin; 2013.
15. Bednar JM, Baesher-Griffith P, Osterman AL. Workers compensation. Effect of state law on treatment cost and work status. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(351):74-77.
16. Benavides FG, Zimmermann M, Campos J, Carmenate JA, Carmenate L, Báez I. Conjunto mínimo básico de ítems para el diseño de cuestionarios sobre condiciones de trabajo y salud. *Archivos de prevención de riesgos laborales*. 2010;13(1):13-22.
17. Bonanno A, Cavalcanti JS. *Globalization and the time-space reorganization: Capital mobility in agriculture and food in the Americas*. 1st ed. Bingley, UK: Emerald; 2011.
18. Borsoi L. *Der Mensch in Umwelt, Familie und Gesellschaft: Ein Lehr- und Arbeitsbuch für den ersten Studienabschnitt Medizin*. 9., stark überarb. Aufl. Wien: Facultas.wuv; 2011.
19. Bowling A, Ebrahim S. *Handbook of health research methods: Investigation, measurement and analysis*. Maidenhead: Open University Press; 2005.



20. Brähler E, Holling H, eds. *Brickenkamp Handbuch psychologischer und pädagogischer Tests*, 2 Bde., Bd.1. 3. Aufl. Göttingen: Hogrefe Verlag; 2002.
21. Brickenkamp R, Seisdedos Cubero N. *d2, test de atención: Manual*. Madrid: TEA; 2002.
22. Brubakk AO, Duplancic D, Valic Z, et al. A single air dive reduces arterial endothelial function in man. *The Journal of physiology*. 2005;566(Pt 3):901-906.
23. Brubakk AO, Mollerlokken A. The role of intra-vascular bubbles and the vascular endothelium in decompression sickness. *Diving Hyperb Med*. 2009;39(3):162-169.
24. Bullinger M. Relationships between air pollution and well-being. *Soz Präventivmed*. 1989;34(5):231-238.
25. Bundesverband deutscher Banken e.V. Währungsrechner.  
[https://bankenverband.de/service/waehrungsrechner/?amount=366600&from\\_=CLP&to=EUR&date=15.01.2016&interbank=0](https://bankenverband.de/service/waehrungsrechner/?amount=366600&from_=CLP&to=EUR&date=15.01.2016&interbank=0). Accessed January 15, 2016.
26. Büttner A. *Die Messung der Daueraufmerksamkeit bei Patienten mit Schlafapnoe-Syndrom mittels Fahrsimulator: Normierung und klinische Überprüfung*. Marburg: Tectum; 2001.
27. Büttner G. *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit*. 1. Aufl. Göttingen: Hogrefe Verlag; 2004.
28. Castilla JC, Geleach S. Management of the loco (*Concholepas concholepas*) as a driver for self-governance of small-scale benthic fisheries in Chile. In: Townsend RE, Shotton R, Uchida H, eds. *Case studies in fisheries self-governance*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2008:441-451. *FAO fisheries technical paper*; 504.
29. Cordes P, Keil R, Bartsch T, et al. Neurologic outcome of controlled compressed-air diving. *Neurology*. 2000;55(11):1743-1745.
30. Cornish K, Wilding JM. *Attention, genes, and developmental disorders*. Oxford, New York: Oxford University Press; 2010.
31. Daniels S. Does Diving Destroy the Brain? In: Lang MA, Brubakk AO, Haldane JS, Boycott AE, eds. *The future of diving: 100 years of Haldane and beyond*. Washington, D.C: Smithsonian Institution Scholarly Press; 2009:137-143. *A Smithsonian contribution to knowledge*.
32. Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de Chile (DIRECTEMAR) (Armada de Chile). *Reglamento de Buceo para Buzos Profesionales: Segunda edición*. Valparaíso; 2006.
33. Ebersole DG, Denoble P. *Prospective Observational Study of Decompression Sickness in Scuba Divers with Patent Foramen Ovale: Baseline Questionnaire*. Lakeland; 2010.
34. ECOCEANOS. Tres mil buzos en un constante peligro.  
[http://www.ecoceanos.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2326&Itemid=9](http://www.ecoceanos.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=2326&Itemid=9). Accessed January 4, 2015.
35. ECOCEANOS. Alerta Roja: Buzos en peligro en la Decima Region.  
[http://www.ecoceanos.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4749&Itemid=9](http://www.ecoceanos.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=4749&Itemid=9). Accessed January 4, 2015.
36. Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell S. *Diving and subaquatic medicine*. Fifth edition. Oakville: Apple Academic Press Inc; 2015.

37. Edmonds CW, McKenzie B, Thomas R, Pennefather J. *Diving Medicine for Scuba Divers: Free Internet Version*. 5th edition. Manly, NSW, Australia; 2013.
38. Erdem I, Yildiz S, Uzun G, et al. Cerebral white-matter lesions in asymptomatic military divers. *Aviat Space Environ Med*. 2009;80(1):2-4.
39. Ernst A, Zibrak JD. Carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*. 1998;339(22):1603-1608.
40. Ferrari R, Obelieniene D, Russell A, Darlington P, Gervais R, Green P. Laypersons' expectation of the sequelae of whiplash injury. A cross-cultural comparative study between Canada and Lithuania. *Med Sci Monit*. 2002;8(11):CR728-34.
41. Ferrari R, Schrader H. The late whiplash syndrome: a biopsychosocial approach. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2001;70(6):722-726.
42. Fok H, Jiang B, Chowienczyk P, Clapp B. Microbubbles shunting via a patent foramen ovale impair endothelial function. *JRSM cardiovascular disease*. 2015;4:1-6.
43. Gempp E, Blatteau J. Risk factors and treatment outcome in scuba divers with spinal cord decompression sickness. *Journal of critical care*. 2010;25(2):236-242.
44. Gold D. Indigenous Divers. In: Jeanne Mager Stellman, ed. *Encyclopaedia of occupational health and safety: Volume III*. 4. ed. Geneva; 1998:66.3-66.4.
45. Gold D, Aiyarak S, Wongcharoenyong S, Geater A, Juengprasert W, Gerth WA. The indigenous fisherman divers of Thailand: diving practices. *Int J Occup Saf Ergon*. 2000;6(1):89-112.
46. Gold D, Geater A, Aiyarak S, et al. The indigenous fisherman divers of Thailand: diving-related mortality and morbidity. *Int J Occup Saf Ergon*. 2000;6(2):147-167.
47. Gold D, Geater A, Aiyarak S, Juengpraert W. The indigenous Sea Gypsy divers of Thailand's west coast: measurement of carbon monoxide in the breathing air. *Appl Occup Environ Hyg*. 1999;14(7):488-495.
48. Goldstein M. Carbon monoxide poisoning. *J Emerg Nurs*. 2008;34(6):538-542.
49. Grønning M, Aarli JA. Neurological effects of deep diving. *Journal of the neurological sciences*. 2011;304(1-2):17-21.
50. Hall J. The risks of scuba diving: a focus on Decompression Illness. *Hawai'i journal of medicine & public health : a journal of Asia Pacific Medicine & Public Health*. 2014;73(11 Suppl 2):13-16.
51. Hanauer E. *Diving pioneers: An oral history of diving in America*. San Diego, Calif.: Westport Pub; 1994.
52. Harper C. The neuropathology of alcohol-related brain damage. *Alcohol Alcohol*. 2009;44(2):136-140.
53. Hemelryck W, Germonpre P, Papadopoulou V, Rozloznik M, Balestra C. Long term effects of recreational SCUBA diving on higher cognitive function. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(6):928-934.
54. Hemmeter UM, Kundermann B. Leistung. In: Peter H, ed. *Enzyklopädie der Schlafmedizin: Mit 137 Tabellen*. Heidelberg: Springer; 2007:685-689.
55. Henze C, Heß C. Hyperbare Therapie und Tauchmedizin - Druckkammer im Einsatz. *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie : AINS*. 2015;50(10):648-54; quiz 655-6.

56. Herranz Gonzalez-Botas J, Fojon Polanco S, Lopez Facal, Maria Soledad, Fernandez Casabella C, Garcia Casas M. Auditory threshold in professional divers not exposed to noise. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2008;59(2):70-75.
57. Hilgers R, Bauer P, Scheiber V. *Einführung in die medizinische Statistik*. 2., verb. und überarb. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer; 2007.
58. Hutzelmann A, Tetzlaff K, Reuter M, Muller-Hulsbeck S, Heller M. Does diving damage the brain? MR control study of divers' central nervous system. *Acta Radiol*. 2000;41(1):18-21.
59. Instituto Nacional de Estadísticas. *CHILE: División Político-Administrativa y Censal 2001*; 2001.  
[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/territorio/division\\_politico\\_administrativa/pdf/dpa2001.pdf](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/dpa2001.pdf). Accessed June 1, 2014.
60. Ireland DC. Australian repetition strain injury phenomenon. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(351):63-73.
61. Knauth M, Ries S, Pohimann S, et al. Cohort study of multiple brain lesions in sport divers: role of a patent foramen ovale. *BMJ*. 1997;314(7082):701-705.
62. Kowalski JT, Varn A, Rottger S, et al. Neuropsychological deficits in scuba divers: an exploratory investigation. *Undersea Hyperb Med*. 2011;38(3):197-204.
63. Krohne HW, Hock M. *Psychologische Diagnostik: Grundlagen und Anwendungsfelder*. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer; 2007.
64. Lavoute C, Weiss M, Risso J, Rostain J. Mechanism of action of nitrogen pressure in controlling striatal dopamine level of freely moving rats is changed by recurrent exposures to nitrogen narcosis. *Neurochem Res*. 2012;37(3):655-664.
65. Lee YI, Ye BJ. Underwater and hyperbaric medicine as a branch of occupational and environmental medicine. *Ann Occup Environ Med*. 2013;25(1):39.
66. Levett, D Z H, Millar IL. Bubble trouble: a review of diving physiology and disease. *Postgrad Med J*. 2008;84(997):571-578.
67. Lisignoli V, Lanzzone AM, Zavalloni D, Pagnotta P, Presbitero P. Closure of patent foramen ovale: when and how? *Curr Vasc Pharmacol*. 2007;5(4):322-327.
68. Ljubkovic M, Dujic Z, Mollerlokken A, et al. Venous and arterial bubbles at rest after no-decompression air dives. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(6):990-995.
69. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, et al. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med*. 2007;(34):43-49.
70. Macdiarmid JJ. *Co-ordinated investigation into the possible long term health effects of diving at work: Examination of the long term health impact of diving : The ELTHI diving study*. Sudbury: HSE Books; 2004.
71. Marcelo G. Un buzo murió en Maullín víctima del mal de presión.  
<http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/Policial/2012/10/13/126201/Un-buzo-murio-en-Maullin-victima-del-mal-de-presion.aspx>. Accessed January 4, 2015.
72. Maria EO. *Evaluación de la atención: Baremación del test de atención d2. Estudio preliminar en adultos mendocinos*. Mendoza: Universidad del Aconcagua; 2009.
73. Marsden PV, Wright JD. *Handbook of survey research*. 2nd ed. Bingley, UK: Emerald; 2010.
74. Martin L. *Scuba diving explained: Questions and answers on physiology and medical aspects of scuba diving*. 1st ed. Flagstaff, Ariz.: Best Pub. Co; 1997.

75. Marx RF. *The history of underwater exploration*. Dover ed. New York: Dover Publications; 1990.
76. Mazur A, Lambrechts K, Buzzacott P, et al. Influence of decompression sickness on vasomotion of isolated rat vessels. *International journal of sports medicine*. 2014;35(7):551-558.
77. Mickeviciene D, Schrader H, Obelieniene D, et al. A controlled prospective inception cohort study on the post-concussion syndrome outside the medicolegal context. *Eur J Neurol*. 2004;11(6):411-419.
78. Millar IL, Mouldey PG. Compressed breathing air - the potential for evil from within. *Diving Hyperb Med*. 2008;38(2):145-151.
79. Moen G, Specht K, Taxt T, et al. Cerebral diffusion and perfusion deficits in North Sea divers. *Acta Radiol*. 2010;51(9):1050-1058.
80. Mojadidi MK, Christia P, Salamon J, et al. Patent foramen ovale: Unanswered questions. *European journal of internal medicine*. 2015;26(10):743-751.
81. Moon RE, Sheffield PJ. Guidelines for treatment of decompression illness. *Aviat Space Environ Med*. 1997 Mar;68(3):234-243.
82. Moosbrugger H. *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion: Mit 43 Tabellen*. Heidelberg: Springer; 2007.
83. Mott DD, Lewis DV. GABAB receptors mediate disinhibition and facilitate long-term potentiation in the dentate gyrus. *Epilepsy Res Suppl*. 1992;7:119-134.
84. Musa G, Dimmock K, eds. *Scuba diving tourism*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group; 2013.
85. Muth C, Radermacher P, Hoffmann U. *Kompendium der Tauchmedizin: Einführung und Überblick für Hausärzte und Sportmediziner ; mit der aktuellen Fassung der Leitlinie \"Tauchunfall\" der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. ; mit 10 Tab. 2. überarb. Aufl. Köln: Dt. Ärzte-Verl; 2007*.
86. Myers RA, DeFazio A, Kelly MP. Chronic carbon monoxide exposure: a clinical syndrome detected by neuropsychological tests. *J Clin Psychol*. 1998;54(5):555-567.
87. Nasterlack M. *Die Heidelberger Malerstudie der ARGE Bau: Multidisziplinäre Längsschnittstudie zu Wirkungen berufstypischer Arbeitsstoffbelastungen auf die Gesundheit langjährig tätiger Maler*. Stuttgart: Gentner; 1997.
88. National Research Council (U.S.). *Effects of chronic exposure to low levels of carbon monoxide on human health, behavior, and performance: A report*. Washington; 1969.
89. Neitzel C, Ladehof K, eds. *Taktische Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012.
90. O.V. Buzos no están respetando profundidades máximas. [http://www.diariollanquihue.cl/prontus4\\_notas/site/artic/20050515/pags/20050515010313.html](http://www.diariollanquihue.cl/prontus4_notas/site/artic/20050515/pags/20050515010313.html). Accessed May 6, 2014.
91. O.V. Carelmapu y la maldición de sus buzos. [http://www.diariollanquihue.cl/prontus4\\_notas/site/artic/20070304/pags/20070304014354.html](http://www.diariollanquihue.cl/prontus4_notas/site/artic/20070304/pags/20070304014354.html). Accessed May 6, 2014.
92. ODEPA Ministerio de Agricultura de Chile. *Región de Los Lagos - Información regional 2014*; 2014. <http://www.odepa.cl/wp->

- content/files\_mf/1410544783140903\_minuta\_loslagosUltimo.pdf. Accessed May 11, 2014.
93. Palmer AC, Calder IM, Yates PO. Cerebral vasculopathy in divers. *Neuropathol Appl Neurobiol.* 1992;18(2):113-124.
  94. Payk TR, Brüne M. *Checkliste Psychiatrie und Psychotherapie.* 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2013.
  95. Penney DG. *Carbon monoxide poisoning.* Boca Raton, FL: CRC Press; 2008.
  96. Peters BH, Levin HS, Kelly PJ. Neurologic and psychologic manifestations of decompression illness in divers. *Neurology.* 1977;27(2):125-127.
  97. Pfister E, Böckelmann I, Darius S, Wurthmann C. Einbeziehung psychopathologischer Verfahren zur Objektivierung von neurotoxischen Früheffekten durch Blei und Lösemittelgemische. *Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie.* 1999;67(10):435-440.
  98. Pontificia Universidad Católica de Chile. El bebedor problema | Psiquiatría UC. [http://www.psiquiatriauc.cl/adicciones/temas/el\\_bebedor\\_problema](http://www.psiquiatriauc.cl/adicciones/temas/el_bebedor_problema). Accessed May 7, 2014.
  99. Prockop LD, Chichkova RI. Carbon monoxide intoxication: an updated review. *J. Neurol. Sci.* 2007;262(1-2):122-130.
  100. Razum O, Breckenkamp J, Brzoska P. *Epidemiologie für Dummies.* 2., aktualisierte Auflage. Weinheim, Bergstr: Wiley-VCH; 2011.
  101. Reinhardt D, Thiele C, Creutzig U. Neuropsychological sequelae in children with AML treated with or without prophylactic CNS-irradiation. *Klin Padiatr.* 2002;214(1):22-29.
  102. Reul J, Weis J, Jung A, Willmes K, Thron A. Central nervous system lesions and cervical disc herniations in amateur divers. *Lancet.* 1995;345(8962):1403-1405.
  103. Ross JA. *Clinical audit and outcome measures in the treatment of decompression illness in Scotland.: A report to the National Health Service in Scotland Common Services Agency, National Services Division on the conduct and outcome of treatment for decompression illness in Scotland from 1991–1999.* Aberdeen, UK: Department of Environmental and Occupational Medicine, University of Aberdeen Medical School; 2000.
  104. Ross JA, Macdiarmid JJ, Osman LM, Watt SJ, Godden DJ, Lawson A. Health status of professional divers and offshore oil industry workers. *Occup Med (Lond).* 2007;57(4):254-261.
  105. Rostain JC, Balon N. Recent neurochemical basis of inert gas narcosis and pressure effects. *Undersea Hyperb Med.* 2006;33(3):197-204.
  106. Rüegger M, Schwarb D. *Berufliches Tauchen und Arbeiten im Überdruck.* Luzern: Suva Abteilung Arbeitsmedizin; 2012.
  107. Schaal S, Kunsch K, Kunsch S. *Der Mensch in Zahlen: Eine Datensammlung in Tabellen mit über 20000 Einzelwerten.* 4., vollst. überarb. und erg. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer; 2016.
  108. Schmidt-Atzert L, Amelang M. *Psychologische Diagnostik: Mit 82 Tabellen.* 5., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer; 2012.
  109. Schneider H, Seeber A. Psychodiagnosis in the assessment of the neurotoxic effects of harmful chemicals. *Z Psychol Z Angew Psychol.* 1979;187(2):178-205.

110. Schorr A. Stand und Perspektiven diagnostischer Verfahren in der Praxis. Ergebnisse einer repräsentativen Befragung westdeutscher Psychologen. *Diagnostica*. 1995;41:3-20.
111. Schwerzmann M, Seiler C. Recreational scuba diving, patent foramen ovale and their associated risks. *Swiss Med Wkly*. 2001;131(25-26):365-374.
112. Schwister K, Leven V. *Verfahrenstechnik für Ingenieure: Lehr- und Übungsbuch*. München: Hanser Verlag; 2013.
113. Seadle M, Fühles-Ubach S, Umlauf K. *Handbuch Methoden der Bibliotheks- und Informationswissenschaft: Bibliotheks-, Benutzerforschung, Informationsanalyse*. Berlin: De Gruyter; 2013.
114. Shields TG, Cattanach S, Duff PM, et al. *Investigations into possible contributing factors to DCS in commercial air diving and the potential long term neurological consequences: Offshore technology report STO96953*. London; 1996.
115. Shuttleworth-Edwards AB, Whitefield-Alexander VJ. Cerebral damage in diving: Taking the cue from sports concussion medicine. *South African Journal of Sports Medicine*. 2012;24(1):27-29.
116. Sillery RJ. Decompression sickness. A review of the literature and previously unreported histological observations. *Arch Pathol*. 1958;(66):241-246.
117. Slosman DO, Ribaupierre S de, Chicherio C, et al. Negative neurofunctional effects of frequency, depth and environment in recreational scuba diving: the Geneva "memory dive" study. *Br J Sports Med*. 2004;38(2):108-114.
118. Strauss E, Sherman, Elisabeth M. S, Spreen O. *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. 3rd ed. Oxford, New York: Oxford University Press; 2006.
119. Strauss MB, Aksenov IV. *Diving science*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
120. Struttman T, Scheerer A, Prince TS, Goldstein LA. Unintentional Carbon Monoxide Poisoning From an Unlikely Source. *The Journal of the American Board of Family Medicine*. 1998;11(6):481-484.
121. Sutherland A., Veale A., Gorman D. Neuropsychological problems in recreational divers one year after treatment for DCS. *South Pacific Underwater Medicine Society Journal*. 1993;23(1):7-11.
122. Taylor CL, Macdiarmid JJ, Ross, John A S, et al. Objective neuropsychological test performance of professional divers reporting a subjective complaint of "forgetfulness or loss of concentration". *Scand J Work Environ Health*. 2006;32(4):310-317.
123. Tetzlaff K, Friege L, Hutzelmann A, Reuter M, Holl D, Lepow B. Magnetic resonance signal abnormalities and neuropsychological deficits in elderly compressed-air divers. *Eur Neurol*. 1999;42(4):194-199.
124. Tirpitz D, ed. *Therapie mit hyperbarem Sauerstoff (HBO) in der Traumatologie und Notfallmedizin: Symposium '20 Jahre hyperbare Medizin' St.-Joseph-Hospital Duisburg 1993*. Berlin Heidelberg: Springer; 1996.
125. Todnem K, Nyland H, Kambestad BK, Aarli JA. Influence of occupational diving upon the nervous system: an epidemiological study. *Br J Ind Med*. 1990;47(10):708-714.

126. Todnem K, Nyland H, Skeidsvoll H, et al. Neurological long term consequences of deep diving. *Br J Ind Med*. 1991;48(4):258-266.
127. Triebig G, ed. *Die Erlanger Spritzlackierer-Studie: Eine multidisziplinäre Querschnittsuntersuchung zur Neurotoxizität von organischen Lösemitteln bei Spritzlackierarbeiten*. Stuttgart: Gentner; 1989.
128. Tripodi D, Dupas B, Potiron M, Louvet S, Geraut C. Brain magnetic resonance imaging, aerobic power, and metabolic parameters among 30 asymptomatic scuba divers. *Int J Sports Med*. 2004;25(8):575-581.
129. Uguen M, Pougnet R, Uguen A, Loddé B, Dewitte JD. Dysbaric osteonecrosis among professional divers: a literature review. *Undersea & hyperbaric medicine : journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc*. 2014;41(6):579-587.
130. United Nations. *Statistical yearbook for latin america and the caribbean 2013*. Blue Ridge Summit: United Nations Publications; 2014.
131. Vaernes RJ, Eidsvik S. Central nervous dysfunctions after near-miss accidents in diving. *Aviat Space Environ Med*. 1982;53(8):803-807.
132. Vallee N, Meckler C, Risso J, Blatteau J. Neuroprotective role of the TREK-1 channel in decompression sickness. *J Appl Physiol (1985)*. 2012;112(7):1191-1196.
133. van Aken H, Reinhart K, Zimpfer M, eds. *Intensivmedizin: 495 Tabellen*. 2., überarb. Aufl. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2007.
134. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet*. 2011;377(9760):153-164.
135. Verma R. A case of decompression illness during saturation diving. *Med J Armed Forces India*. 2012;68(2):185-186.
136. von Leupoldt, Andreas, Ritz T, eds. *Verhaltensmedizin: Psychobiologie, Psychopathologie und klinische Anwendung*. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer; 2008.
137. Walker R. Long term health effects of diving. *SPUMS (Journal of the South Pacific Underwater Medicine Society)*. 2001;31(2):103-108.
138. Weineck J. *Sportbiologie*. 9. Aufl. Balingen: Spitta; 2004.
139. Westin AA, Asvall J, Idrovo G, Denoble P, Brubakk AO. Diving behaviour and decompression sickness among Galapagos underwater harvesters. *Undersea Hyperb Med*. 2005;32(3):175-184.
140. Williamson AM, Clarke B, Edmonds C. Neurobehavioural effects of professional abalone diving. *Br J Ind Med*. 1987;44(7):459-466.
141. Williamson AM, Clarke B, Edmonds CW. The influence of diving variables on perceptual and cognitive functions in professional shallow-water (abalone) divers. *Environ Res*. 1989;50(1):93-102.
142. Wilmshurst PT. The role of persistent foramen ovale and other shunts in decompression illness. *Diving and hyperbaric medicine*. 2015;45(2):98-104.
143. Wortzel HS, Arciniegas DB. Treatment of post-traumatic cognitive impairments. *Current treatment options in neurology*. 2012;14(5):493-508.
144. Wright J. Chronic and occult carbon monoxide poisoning: we don't know what we're missing. *Emerg Med J*. 2002;19(5):386-390.

## 8 Anhang

8.1 Weitere Ergebnisse der Studie.....	67
8.1.1 Deskriptive Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung.....	67
8.1.2 Deskriptive Ergebnisse des Tests d2.....	68
8.1.3 Übereinstimmung der Faktoren „Alter“ und „Tauchjahre“.....	69
8.1.4 Weitere Ergebnisse für den Gesamtleistungswert (GZ-F).....	69
8.1.5 Ergebnisse für den Konzentrationsleistungswert (KL).....	70
8.1.5.1 Ergebnisse der bivariaten Analysen.....	70
8.1.5.2 Ergebnisse der multiplen linearen und logistischen Regression.....	72
8.1.6 Ergebnisse zur Bedeutung von Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II....	74
8.1.6.1 Zusammenhang zwischen Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II und dem Konzentrationsleistungswert (KL).....	74
8.1.6.2 Zusammenhang zwischen Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II und tauchspezifischen Risikofaktoren .....	74
8.2 Probandenaufklärung.....	76
8.3 Fragebogen.....	77
8.4 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2 (spanische Version nach Seisdedos Cubero)..	85



## 8.1 Weitere Ergebnisse der Studie

### 8.1.1 Deskriptive Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung

**Tabelle 15: Wichtige sozioökonomische und Risikoverhalten-bezogene Charakteristika der Gesamtheit der Studienteilnehmer. Absolute und relative Häufigkeiten.**

Alle Teilnehmer (n = 134)	
	<i>n (%)</i>
<b>Alter (in Jahren)</b>	
18-19	2 (1,5%)
20-29	15 (11,2%)
30-39	17 (12,7%)
40-49	56 (41,8%)
>50	44 (32,8%)
<b>Monatliches Nettoeinkommen (in CLP*)</b>	
≤ 366.600	110 (86,6% **)
366.600 – 611.000	16 (12,6% **)
≥ 611.000	1 (0,8% **)
Fehlend	7
<b>Höchster erreichter Bildungsabschluss</b>	
Keine Schulbildung	2 (1,5%)
Höchstens Grundschule*** (≤ 8. Klasse)	84 (62,7%)
Begonnene oder abgeschlossene Sekundarschule*** (9.-12. Klasse)	46 (34,3%)
Technische oder universitäre Ausbildung	2 (1,5%)
<b>Verteilung von Normal- und Übergewicht (BMI)</b>	
Normalgewicht (18,5 – <25,0)	23 (17,2%)
Übergewicht / Präadipositas (25,0 – <30,0)	74 (55,2%)
Übergewicht / Adipositas (≥30,0)	37 (27,6%)
<b>Nikotinkonsum</b>	
Raucher	91 (67,9%)
Nichtraucher	43 (32,1%)
<b>Problematischer Alkoholkonsum</b>	
Ja	35 (26,1%)
Nein	99 (73,9%)

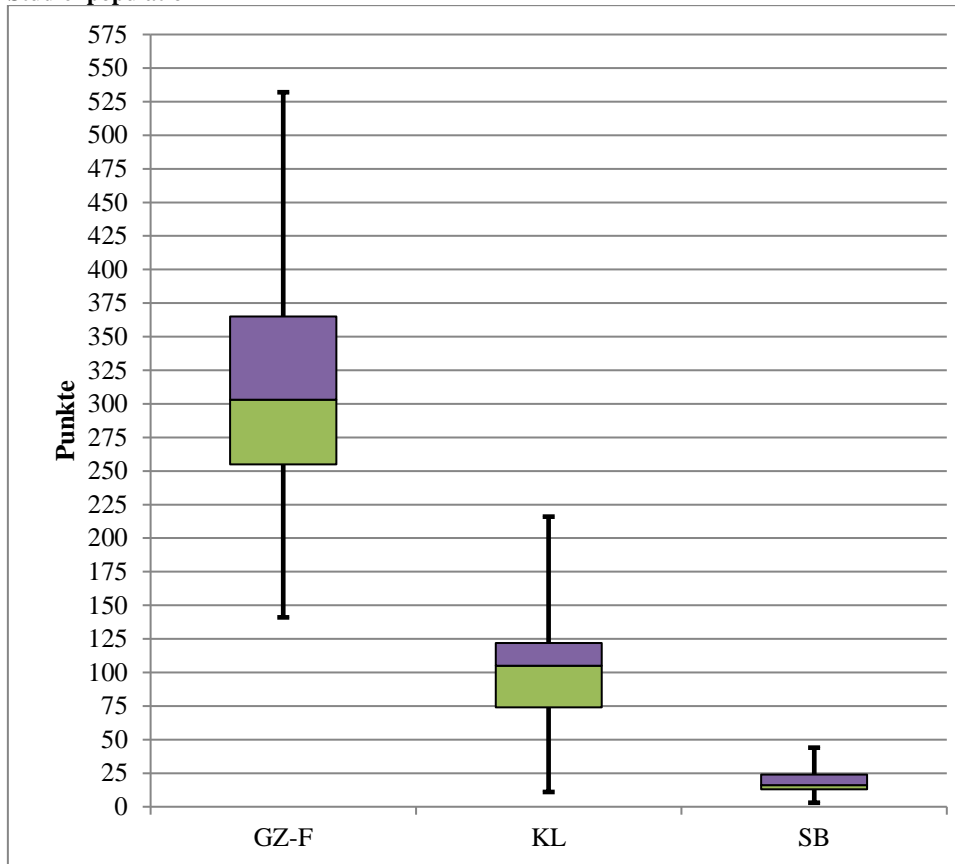
\*Chilenische Pesos; (366.600CLP ≅ 461,92€; 611.000 CLP ≅ 763,75€; Stand 15.01.2016 <sup>25</sup>)

\*\*Anteil unter den Teilnehmern, die diese Frage beantworteten

\*\*\*Gemäß chilenischer Einteilung

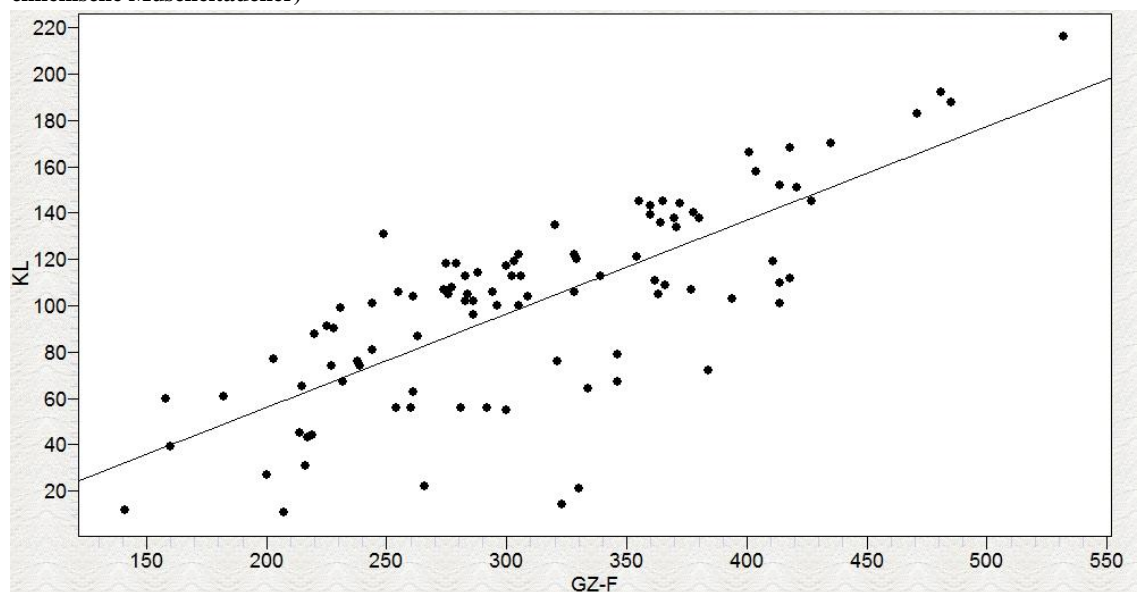
### 8.1.2 Deskriptive Ergebnisse des Tests d2

Abbildung 12: Box-Whisker-Plots der Verteilung der Rohwerte des Tests d2 für GZ-F, KL und SB in der Studienpopulation



GZ-F=Gesamtleistungswert; KL=Konzentrationsleistungswert; SB=Schwankungsbreite

Abbildung 13: Punkt-Wolken-Diagramm zur Assoziation der Kennwerte GZ-F und KL des Tests d2 (n=97 chilenische Muscheltaucher)



GZ-F=Gesamtleistungswert bzw. KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

### 8.1.3 Übereinstimmung der Faktoren „Alter“ und „Tauchjahre“

Tabelle 16: Übereinstimmung der dichotomisierten Faktoren „Alter“ und „Tauchjahre“

	Alter <40 Jahre (n=32)	Alter ≥40 Jahre (n=65)
	<i>n (% Gesamt)</i>	<i>n (% Gesamt)</i>
≤23 Tauchjahre (n=49)	31 (32,0%)	1 (1,0%)
>23 Tauchjahre (n=48)	18 (18,6%)	47 (48,5%)

### 8.1.4 Weitere Ergebnisse für den Gesamtleistungswert (GZ-F)

Tabelle 17: Bivariate Zusammenhänge zwischen möglichen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (GZ-F\* <Median). Nicht adjustierte *odds ratios* mit 95% Konfidenzintervall.

	% (n)	OR	95% CI	p <sub>Chi2</sub>
<i>Allgemeine Risikofaktoren</i>				
Alter mindestens 40 Jahre	67,0% (65)	3,83	1,53 – 9,59	0,002
Konzentrationsbeschwerden	14,4% (14)	4,56	1,18 – 17,55	0,01
Übergewicht	80,4% (78)	1,90	0,68 – 5,34	0,12
Höchstens Grundschulbildung**	53,6% (52)	1,73	0,77 – 3,86	0,10
Raucher	70,1% (68)	1,31	0,55 – 3,12	0,28
Problematischer Alkoholkonsum	25,8% (25)	1,11	0,41 – 2,96	0,42
<i>Tauchspezifischen Risikofaktoren</i>				
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,45	0,02
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,87	1,56 – 6,56	0,006
Mindestens 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	2,02	0,85 – 4,83	0,06
Tauchgänge gewöhnlich länger als 2h	28,9% (28)	0,69	0,28 – 1,67	0,21
Beherrscht Umgang mit Dekompressionstabellen nicht	44,3% (43)	0,68	0,31 – 1,53	0,18
DCI Typ I*** in Vorgeschichte	67,0% (65)	0,8	0,34 – 1,88	0,31
DCI Typ II*** in Vorgeschichte	64,9% (63)	0,97	0,42 – 2,23	0,47

\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

\*\*In Chile 8 Jahre

\*\*\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung)

**Tabelle 18: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und den GZ-F\*-Ergebnissen des Tests d2 – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen linearen Regression**

	Roh		Adjustiert	
	<i>Regressions- koeffizient</i>	<i>p<sup>Lineare Regression</sup></i>	<i>Regressions- koeffizient</i>	<i>p<sup>Lineare Regression</sup></i>
Tauchtiefensumme**	-4,53	0,01	-2,41	0,20
Tauchjahre	-2,34	0,0014	-1,89	0,016
1-7 Tauchgänge pro Woche	<i>Referenz</i>		<i>Referenz</i>	
8-11 Tauchgänge pro Woche	-6,47	0,77	-4,77	0,82
>11 Tauchgänge pro Woche	-39,63	0,07	-32,32	0,12

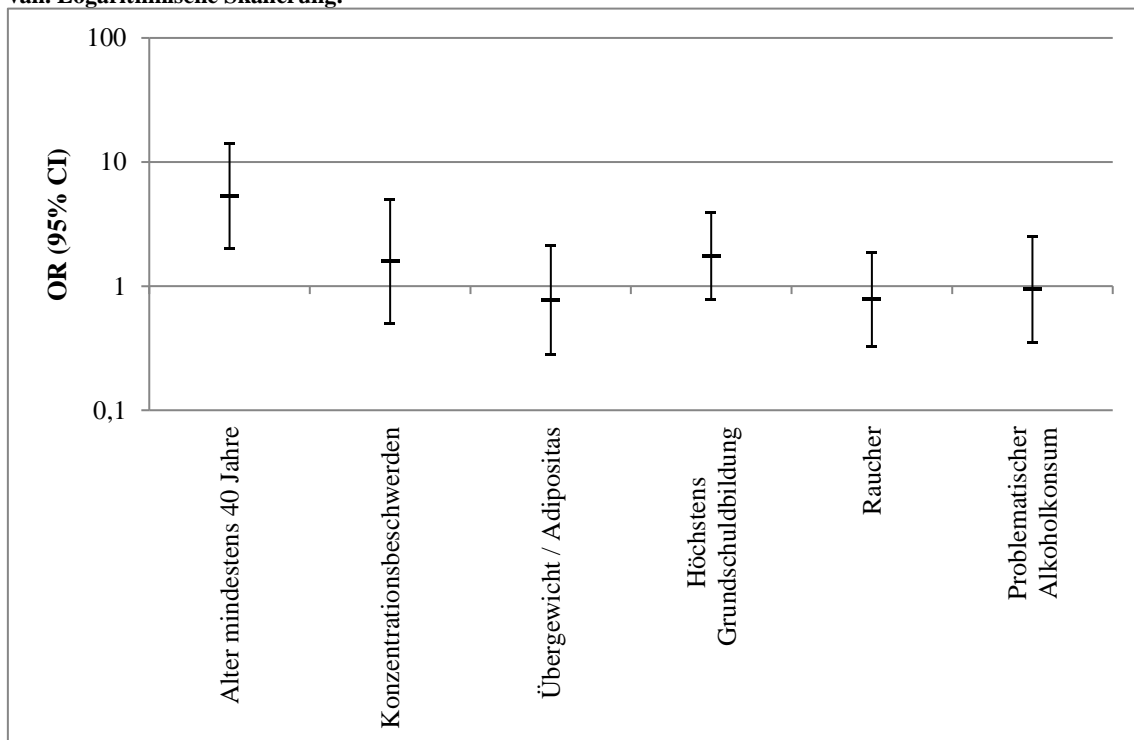
\*GZ-F=Gesamtleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

## 8.1.5 Ergebnisse für den Konzentrationsleistungswert (KL)

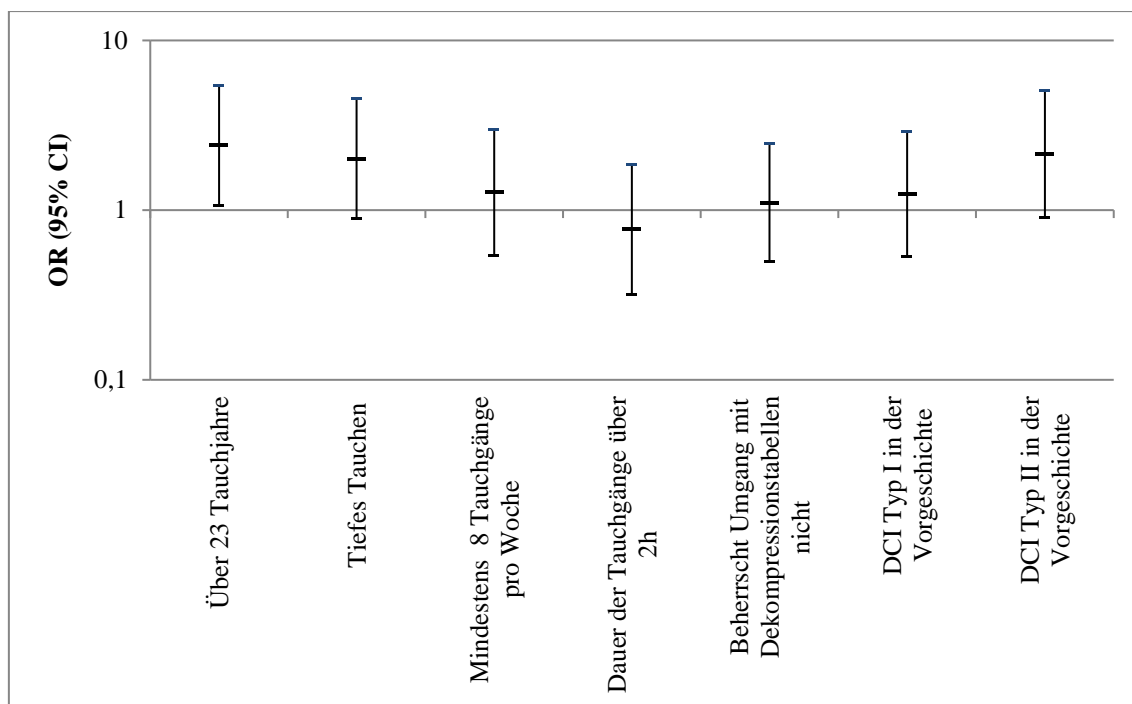
### 8.1.5.1 Ergebnisse der bivariaten Analysen

**Abbildung 14: Bivariate Zusammenhänge zwischen allgemeinen Charakteristika der Muscheltaucher und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* <Median). Nicht adjustierte odds ratios mit 95% Konfidenzintervall. Logarithmische Skalierung.**



\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

**Abbildung 15: Bivariate Zusammenhänge zwischen tauchspezifischen Charakteristika der Muscheltaucher und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* <Median). Nicht adjustierte odds ratios mit 95% Konfidenzintervall. Logarithmische Skalierung.**



\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

**Tabelle 19: Bivariate Zusammenhänge zwischen möglichen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* <Median). Nicht adjustierte odds ratios mit 95% Konfidenzintervall.**

	% (n)	OR	95% CI	pChi2
<i>Allgemeine Risikofaktoren</i>				
Alter mindestens 40 Jahre	67,0% (65)	5,36	2,02 – 14,19	0,0002
Konzentrationsbeschwerden	14,4% (14)	1,58	0,50 – 4,95	0,22
Übergewicht	80,4% (78)	0,77	0,28 – 2,11	0,31
Höchstens Grundschulbildung**	53,6% (52)	1,75	0,78 – 3,93	0,09
Raucher	70,1% (68)	0,78	0,33 – 1,87	0,29
Problematischer Alkoholkonsum	25,8% (25)	0,94	0,35 – 2,53	0,46
<i>Tauchspezifischen Risikofaktoren</i>				
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,46	0,02
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,02	0,90 – 4,53	0,05
Mindestens 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	1,28	0,54 – 3,01	0,29
Tauchgänge gewöhnlich länger als 2h	28,9% (28)	0,77	0,32 – 1,87	0,29
Beherrscht Umgang mit Dekompressionstabellen nicht	44,3% (43)	1,11	0,50 – 2,47	0,4
DCI Typ I*** in Vorgeschichte	67,0% (65)	1,25	0,53 – 2,92	0,31
DCI Typ II*** in Vorgeschichte	64,9% (63)	2,15	0,91 – 5,08	0,04

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*In Chile 8 Jahre

\*\*\*decompression illness (dt. Dekompressionserkrankung)

### 8.1.5.2 Ergebnisse der multiplen linearen und logistischen Regression

**Tabelle 20: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* < Median) – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen logistischen Regression**

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,02	0,90 – 4,53	1,68	0,72 – 3,91
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,46	2,11	0,91 – 4,92
Über 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	1,28	0,54 – 3,01	1,18	0,49 – 2,86

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

**Tabelle 21: Zusammenhang zwischen der kategorisierten Tauchtiefensumme, weiteren relevanten tauchspezifischen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* < Median) – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen logistischen Regression**

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
<i>Tauchtiefensumme**</i>					
0 – 3	11,3% (11)	1,0		1,0	
4 – 6	8,2% (8)	1,60	0,23-11,26	1,54	0,21-11,17
7 – 9	33,0 % (32)	2,07	0,46-9,29	1,62	0,34-7,58
10 – 12	13,4% (13)	4,27	0,75-24,17	3,07	0,51-18,42
13 – 15	26,8% (26)	2,67	0,58-12,36	1,85	0,37-9,16
16 – 18	7,2% (7)	6,67	0,81-54,94	5,25	0,61-44,86
<i>Andere Faktoren</i>					
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07-5,46	2,09	0,88-4,98
Über 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	1,28	0,54-3,01	1,22	0,49-3,03

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

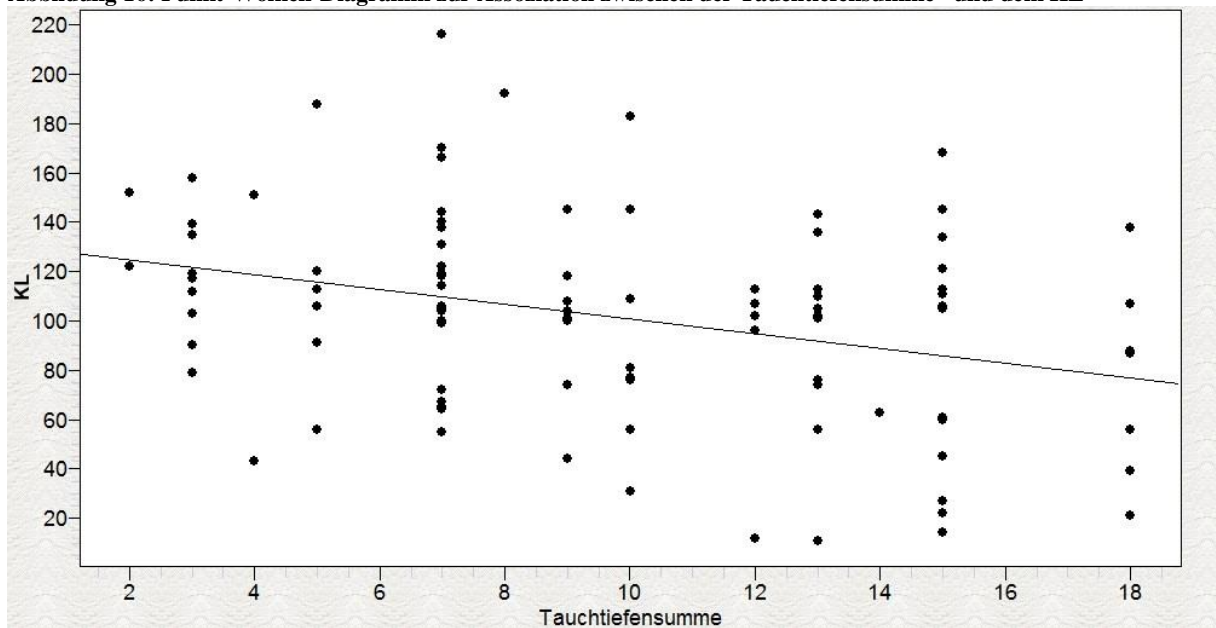
**Tabelle 22: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und den KL\*-Ergebnissen des Tests d2 – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen linearen Regression**

	Roh		Adjustiert	
	Regressionskoeffizient	pLineare Regression	Regressionskoeffizient	pLineare Regression
Tauchtiefensumme**	-2,95	0,002	-2,62	0,007
Über 23 Tauchjahre	-16,3	0,06	-8,59	0,32
Über 8 Tauchgänge pro Woche	-10,89	0,23	-9,38	0,28

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

Abbildung 16: Punkt-Wolken-Diagramm zur Assoziation zwischen der Tauchtiefensumme\* und dem KL\*\*



\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\* Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

Tabelle 23: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und den KL\*-Ergebnissen des Tests d2 – Roh und für alle drei Faktoren adjustierte Ergebnisse der multiplen linearen Regression

	Roh		Adjustiert	
	<i>Regressions- koeffizient</i>	<i>pLineare Regression</i>	<i>Regressions- koeffizient</i>	<i>pLineare Regression</i>
Tauchtiefensumme**	-2,95	0,002	-1,87	0,06
Tauchjahre	-1,42	0,0002	-1,09	0,008
1-7 Tauchgänge pro Woche	<i>Referenz</i>		<i>Referenz</i>	
8-11 Tauchgänge pro Woche	-6,22	0,60	-5,79	0,61
>11 Tauchgänge pro Woche	-15,26	0,19	-10,24	0,35

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

## 8.1.6 Ergebnisse zur Bedeutung von Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II

### 8.1.6.1 Zusammenhang zwischen Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II und dem Konzentrationsleistungswert (KL)

**Tabelle 24:** Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und schlechterem Abschneiden im Test d2 (KL\* < Median) – Ergebnisse der bivariaten Analyse und der für alle drei Faktoren adjustierten multiplen logistischen Regression

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,02	0,90 – 4,53	1,61	0,68 – 3,77
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	2,41	1,07 – 5,46	1,86	0,76 – 4,55
Typ-II-DCI** berichtet	64,9% (63)	2,15	0,91 – 5,08	1,53	0,60 – 3,93

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*decompression illness (dt. Dekompressionserkrankung)

**Tabelle 25:** Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und den KL\*-Ergebnissen des Tests d2 – Ergebnisse der bivariaten Analyse und der für alle drei Faktoren adjustierten multiplen linearen Regression

	Roh		Adjustiert	
	Regressionskoeffizient	p <sup>Lineare Regression</sup>	Regressionskoeffizient	p <sup>Lineare Regression</sup>
Tauchtiefensumme**	-2,95	0,002	-2,61	0,008
Über 23 Tauchjahre	-16,3	0,05	-3,31	0,72
Typ-II-DCI*** berichtet	-11,2	0,21	-8,07	0,38

\*KL=Konzentrationsleistungswert im Test d2

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

\*\*\*decompression illness (dt. Dekompressionserkrankung)

### 8.1.6.2 Zusammenhang zwischen Episoden der Dekompressionserkrankung Typ II und tauchspezifischen Risikofaktoren

**Tabelle 26:** Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und mindestens einmalig erlebter berichteter DCI\* Typ II nach dem Tauchen – Ergebnisse der bivariaten Analyse und der für alle drei Faktoren adjustierten multiplen logistischen Regression

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Tiefes Tauchen	47,4% (46)	2,61	1,09 – 6,26	1,87	0,73 – 4,83
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	5,65	2,20 – 14,53	4,89	1,85 – 12,89
Mind. 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	1,87	0,73 – 4,80	1,73	0,62 – 4,80

\*decompression illness (dt. Dekompressionserkrankung)



**Tabelle 27: Zusammenhang zwischen tauchspezifischen Risikofaktoren und mindestens einmalig erlebter berichteter DCI\* Typ II nach dem Tauchen – Ergebnisse der bivariaten Analyse und der für alle drei Faktoren adjustierten multiplen logistischen Regression**

	% (n)	Roh		Adjustiert	
		OR	95% CI	OR	95% CI
Tauchtiefensumme über Median**	47,4% (46)	2,15	0,91 – 5,08	1,51	0,59 – 3,88
Über 23 Tauchjahre	49,5% (48)	5,65	2,20 – 14,53	5,06	1,92 – 13,37
Mind. 8 Tauchgänge pro Woche	32,0% (31)	1,87	0,73 – 4,80	1,77	0,64 – 4,88

\**decompression illness* (dt. Dekompressionserkrankung)

\*\*Individuelle Tauchtiefensumme (0-18) zur Quantifizierung der kumulativen Tiefenbelastung

## 8.2 Probandenaufklärung

### CARTA DE INFORMACIÓN ENTREVISTA

Nombre: Astrid Garrido Campos  
Teléfono: 78783908  
Correo electrónico: marieastridg@gmail.com



Prof. Dr. Katja Radon  
Instituto de Salud Ocupacional, Social y Medio  
Ambiental  
Hospital de la Universidad Ludwig-Maximilian  
Ziemssenstr. 1, 80336 Munich, Alemania  
Teléfono: +49-89-5160-2485  
Fax: +49-89-5160-4954  
Email: [sekretariat-radon@med.lmu.de](mailto:sekretariat-radon@med.lmu.de)

#### I Encuesta de las condiciones de trabajo y salud en América Latina Información sobre la encuesta para los participantes en las entrevistas y Declaración de confidencialidad

Buenos días. Queremos invitarle cordialmente a participar en una encuesta. Hasta ahora hay poca información en relación a las condiciones de trabajo y sobre la salud de los trabajadores en América Latina. Estos datos son fundamentales para saber más sobre la situación de los trabajadores en América Latina. Estudios similares se han llevado a cabo en Europa desde hace años. De estos se derivan recomendaciones para la política. Además a partir de estos estudios se generan estrategias de mejoramiento, aplicadas donde correspondan, para mejorar sostenidamente las condiciones de trabajo y de salud de los trabajadores.

La encuesta se aplicará simultáneamente en diferentes lugares de trabajo de 10 países de América Latina y Alemania. Estas encuestas serán coordinadas por el Centro para la Salud Internacional de la Universidad Ludwig-Maximilians de Munich. Su contacto local es Astrid Garrido Campos. La entrevista tendrá una duración de alrededor de 30 minutos. Además se le invitará a realizar una audiometría para evaluar la audición y un test cognitivo y de concentración, lo cual tendrá una duración de 30 minutos aproximadamente.

**La participación no es obligatoria.** Si no desea participar esto no le perjudicará en absoluto. Para el éxito del estudio es deseable que usted participe de ser posible.

#### **Declaración de confidencialidad**

En este estudio se respetarán las reglas de discreción médica y la política de privacidad. Datos personales y hallazgos serán recaudados, guardados y utilizados en el futuro de manera anónima e irreversible. **Sus datos no pueden ser adjuntados de esta forma por nadie a su persona, incluso ni siquiera por su empleador.** Los datos serán protegidos con una clave secreta y sólo podrán acceder a ellos miembros del equipo de trabajo del estudio. En caso de una publicación de los datos se garantiza la confidencialidad de los datos personales.

Su cuestionario, audiometría y test cognitivo y de concentración tienen un número de identificación. Usted lo recibirá de parte del entrevistador. Este número será conocido sólo por Usted. Por favor, guárdelo bien. En caso de que usted desee retirar su consentimiento del estudio, no necesita mencionar algún motivo. Sus datos serán borrados a la brevedad, tan pronto como nos haga saber su número de identificación.

En caso de preguntas dirijase a Astrid Garrido Campos (Teléfono: 78783908)

**¡Muchas gracias por su apoyo!**

**Colaborador Local del Proyecto**

## 8.3 Fragebogen

### CUESTIONARIO DE CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD BUZOS MARISCADORES DE CARELMAPU.

A continuación se plantean una serie de preguntas que usted debe responder indicando la alternativa que más se ajuste a su realidad.

#### I. ANTECEDENTES GENERALES

1. **Sexo al cual pertenece:** 1) Masculino 2) Femenino
2. **¿Cuántos años de edad tiene usted?**  
1) Menos de 20 2) De 20 a 29 3) De 30 a 39 4) De 40 a 49  
5) Más de 50.
3. **¿Qué nivel de escolaridad tiene usted? (¿Hasta qué curso estudió?)**  
1) Sin escolaridad  
2) Básica incompleta (no terminó el 8° básico)  
3) Básica completa (terminó 8° básico)  
4) Media incompleta (no terminó 4° medio)  
5) Media completa (terminó 4° medio)  
6) Educación Técnica completa  
7) Educación Universitaria
4. **¿Es usted el proveedor principal de su familia?** 1) Sí 2) No
5. **¿Cuántas personas dependen económicamente de usted?**  
1) De 1 a 3 2) De 4 a 6 3) De 7 a 9 4) Más de 10

#### II COMPORTAMIENTO DE BUCEO

6. **¿Durante cuántos años en su vida ha practicado buceo?** \_\_\_\_\_ años.
7. **¿Cuántas inmersiones hace a la semana?**  
1) de 1 a 3 2) de 4 a 7 3) de 8 a 11 4) de 12 a 15 5) de 16 a 19 6) 20 o más
8. **¿Cuánto tiempo dura cada inmersión?**  
1) 1 hora o menos 2) entre más de 1 hora y 2 horas 3) entre más de 2 horas y 3 horas 4) entre más de 3 horas y 4 horas 5) entre más de 4 horas y 5 horas 6) más de 5 horas.
9. **¿Con qué frecuencia buceó en las siguientes profundidades? (metros bajo el mar)**  
**Menos que 30 mt.** 1) nunca 2) sólo alguna vez 3) algunas veces 4) muchas veces

**Entre 30 y 50 mt.**            1) nunca    2) sólo alguna vez    3) algunas veces    4) muchas veces

**Más que 50 mt.**            1) nunca    2) sólo alguna vez    3) algunas veces    4) muchas veces

**10. ¿Usted sabe utilizar las tablas de descompresión?**    1) Sí absolutamente  
2) Sí, aunque no del todo            3) No en absoluto

**11. ¿Utiliza usted las tablas de descompresión?**  
1) Nunca            2) Ocasionalmente            3) Siempre

**12. ¿Cuántas semanas NO bucea en el año?**  
1) menos de 10    semanas            2) entre 10 a 20    semanas            3) más de 20 semanas

### **III. CONDICIONES DE EMPLEO**

**13. ¿Cuántos trabajos remunerados (diferentes) tiene actualmente?** \_\_\_\_\_

**A PARTIR DE ESTE MOMENTO, TODAS LAS PREGUNTAS HACEN REFERENCIA AL TRABAJO PRINCIPAL (AL QUE DEDICA O DEDICÓ MÁS HORAS POR SEMANA).**

**14. ¿Qué días de la semana trabaja?**  
1) De lunes a viernes  
2) De lunes a viernes y excepcionalmente sábados, domingo y/o festivos (feriados).  
3) De lunes a sábado  
4) De lunes a domingo  
5) Sólo festivos (feriados)  
6) Días irregulares  
7) Otros. Especificar \_\_\_\_\_

**15. En promedio ¿cuál ha sido su sueldo neto mensual en los últimos 3 meses?**

1) \$366.600 o menos            2) entre 366.600 y \$611.000            3) entre \$611.000 y \$916.500  
4) entre \$916.500 y \$1.222.000            5) más de \$1.222.000

### **IV. CONDICIONES DE TRABAJO**

**A CONTINUACION LE VAMOS A PREGUNTAR POR ALGUNOS RIESGOS Y SITUACIONES QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN SU LUGAR DE TRABAJO. POR FAVOR, SIEMPRE RESPONDA EN RELACION A SU TRABAJO PRINCIPAL.**

**TODAS ESTAS PREGUNTAS TOMAN COMO REFERENCIA UN DIA HABITUAL DEL TRABAJO Y EN LA RESPUESTA DEBE VALORAR LA FRECUENCIA CON QUE ESTÁN PRESENTES LOS RIESGOS, ELIGIENDO UNA SOLA RESPUESTA PARA CADA PREGUNTA.**

**16. Para la realización de su trabajo, con qué frecuencia debe:**

Tipo	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Sólo alguna vez	Nunca
Mantener un nivel de atención alto o muy alto					
Atender a varias tareas al mismo tiempo					
Realizar tareas complejas, complicadas o difíciles					
Necesita esconder sus propias emociones en su puesto de trabajo					
Considera su trabajo excesivo					

**17. En su puesto de trabajo, con qué frecuencia es necesario:**

Tipo	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Sólo alguna vez	Nunca
Trabajar muy rápido					
Trabajar con plazos muy estrictos y muy cortos					
Tener tiempo suficiente para realizar su trabajo					

**18. En su puesto de trabajo, con qué frecuencia los factores que determinan su ritmo de trabajo son:**

Tipo	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Sólo alguna vez	Nunca
El trabajo de compañeros					
Las demandas directas de las personas					
Los topes/cantidad de productos/servicios a alcanzar					
Los plazos de tiempo que hay que cumplir					
Condiciones meteorológicas adversas ("mal tiempo")					

**19. En su puesto de trabajo, con qué frecuencia tiene autonomía en:**

Tipo	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Sólo alguna vez	Nunca
El orden de las tareas					
El método de trabajo					
El ritmo de trabajo					
La distribución o duración de las pausas en el trabajo					

**20. En su puesto de trabajo, con qué frecuencia puede:**

Tipo	Siempre	Muchas veces	Algunas veces	Sólo alguna vez	Nunca
Obtener ayuda de compañeros si la pide					
Las relaciones personales son positivas					

## V. AMENAZAS Y VIOLENCIA EN EL TRABAJO

**21. En los últimos doce meses, cuando ha estado en su trabajo, ¿ha sido Ud. Objeto de...?**

	Sí	No	No sabe	No contesta
Violencia física cometida por personas pertenecientes a su lugar de trabajo (compañeros/jefes/subordinados)				
Violencia física cometida por personas no pertenecientes a su lugar de trabajo (clientes/vecinos, etc..)				

**22. En los últimos doce meses, cuando ha estado trabajando, una o varias personas con las que trabaja ¿han tenido hacia Ud. alguna de las siguientes conductas?:**

	Sí, diariamente	Sí, al menos una vez por semana	Sí, algunas veces al mes	Sí, algunas veces al año	No sabe	No contesta
Le ponen dificultades para comunicarse (le impiden expresarse, no se le habla, se evita la mirada, se ignora su presencia, se prohíbe que se hable con Ud.)						
Le desacreditan personal o profesionalmente (calumnias, se le ridiculiza, se burlan de su vida privada o manera de pensar, se cuestionan sus decisiones, se le asignan tareas humillantes, no se le asignan tareas, se critica el trabajo delante de terceros...)						
Le amenazan (amenazas orales, escritas, por teléfono, se le ocasionan desperfectos en su puesto de trabajo, en el vehículo, en su domicilio...)						
Otras conductas de este tipo (especificar)						

## VI. ESTADO DE SALUD

**23. ¿Cómo considera usted que es su salud?**

1) Excelente    2) Muy buena    3) Buena    4) Regular    5) Mala

**24. ¿Ha sentido los siguientes síntomas de enfermedad por descompresión inadecuada después de bucear?**

a) **Fatiga inesperada**    1) Nunca    2) Una vez    3) Más de una vez  
b) **Dolor de cabeza**    1) Nunca    2) Una vez    3) Más de una vez

- c) **Picazón de piel, sarpullido, piel moteada y/o piel hinchada?** 1) Nunca 2) Una vez  
3) Más de una vez
- d) **Dificultad para respirar / asfixia?:** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- e) **Dolor en articulaciones o músculos?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- f) **Pérdida de conciencia?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez

- g) **Pérdida de visión?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- h) **Vértigo?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- i) **Entumecimiento y/o hormigueo?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- j) **Debilidad muscular / parálisis?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- k) **Incapacidad para orinar?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez
- l) **Confusión, desorientación y/o pérdida de la memoria?** 1) Nunca 2) Una vez  
3) Más de una vez
- m) **Pérdida del equilibrio?** 1) Nunca 2) Una vez 3) Más de una vez

25. **¿Ha respirado alguna vez oxígeno en la superficie después de bucear para aliviar síntomas?**  
Sí ¿Cuántas veces? \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

26. **¿Ha regresado alguna vez bajo el agua para aliviar sus síntomas?**  
Sí ¿Cuántas veces? \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

27. **¿Ha sido tratado alguna vez por enfermedad por descompresión en cámara hiperbárica?**  
Sí ¿Por cuántos casos de enfermedad por descompresión? \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

28. **¿Ha sufrido alguna vez un barotrauma del oído?** Sí, oído derecho \_\_\_\_\_  
Sí, oído izquierdo \_\_\_\_\_ Sí, ambos \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

29. **En las últimas 4 semanas, ¿ha sentido usted?**

a) **Falta de memoria o dificultad para concentrarse:**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

b) **Deterioro de la visión (no corregido por lentes):**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

c) **Deterioro de la audición:**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

d) **Dolor en las articulaciones o rigidez muscular:**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

e) **Dolor de espalda o dolor de cuello:**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

f) **Dificultad para respirar:**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente

g) **Tos o sibilancias (ruido al respirar):**

1) No 2) Leve 3) Moderado 4) Extremadamente



**h) Dolor abdominal, diarrea, estreñimiento o náusea:**

1) No                      2) Leve                      3) Moderado                      4) Extremadamente

**i) Debilidad muscular o temblores:**

1) No                      2) Leve                      3) Moderado                      4) Extremadamente

**j) Inestabilidad al caminar, mareo o falta de equilibrio:**

1) No                      2) Leve                      3) Moderado                      4) Extremadamente

**k) Sarpullido o picazón:**

1) No                      2) Leve                      3) Moderado                      4) Extremadamente

**30. En las últimas cuatro semanas, con qué frecuencia usted:**

	Mucho más que lo habitual	Bastante más que lo habitual	No más que lo habitual	No en absoluto
¿Ha sido capaz de concentrarse bien en lo que hace?				
¿Ha perdido sueño por preocupaciones?				
¿Se ha sentido útil para los demás?				
¿Se ha sentido capaz de tomar decisiones?				
¿Se ha sentido constantemente bajo tensión?				
¿Ha sentido que no puede solucionar sus problemas?				
¿Ha sido capaz de disfrutar la vida diaria?				
¿Ha sido capaz de enfrentar sus problemas?				
¿Se ha sentido triste o deprimido?				
¿Ha perdido confianza en sí mismo?				
¿Ha sentido que Ud. no vale nada?				
¿Se ha sentido feliz considerando todas las cosas?				

**31. En los últimos 12 meses de trabajo, ¿ha sufrido alguna lesión debido a un accidente de trabajo, que lo ha obligado a ausentarse de su trabajo al menos un día, además del día en que ocurrió el accidente?. Si la respuesta es No, pase a la pregunta N° 34.**

1) No                      2) Sí

**32. Si la anterior respuesta fue Sí, ¿qué tipo de lesión (es) tuvo?**

- 1) Heridas      2) Quemaduras      3) Contusiones (golpes)      4) Lesiones traumáticas  
5) Otros (especificar) \_\_\_\_\_

**33. ¿Recibió atención médica luego de la lesión a causa del accidente de trabajo señalado en la pregunta anterior?**

Sí\_\_\_\_ No\_\_\_\_ ¿Por qué no? \_\_\_\_\_ No he tenido accidentes en el trabajo \_\_\_\_

## VII. SALUD PREVENTIVA

**34. Durante el último año, ¿Usted se ha hecho un chequeo médico preventivo o de control por enfermedades crónicas (hipertensión, diabetes, colesterol alto) en la posta, consultorio o centro de salud familiar?**

- 1) Sí      2) No

**35. ¿Cuándo fue la última vez que se realizó un chequeo médico?**

- 1) hace menos de un año   2) hace más de un año      3) no recuerda

¿Por qué motivo? \_\_\_\_\_

## VIII. HÁBITOS

**36. Actualmente, ¿Usted fuma?**

- 1) Sí, fumo diariamente      2) Sí, fumo ocasionalmente (no todos los días)  
3) No, no he fumado nunca      4) No, soy ex fumador/a.

**37. ¿Consume alguna droga habitualmente (cocaína, marihuana, etc.)?** 1) Sí      2) No

**38. ¿Consume alcohol?** Sí\_\_\_\_ Ocasional\_\_\_\_ No\_\_\_\_ (si la respuesta es sí u ocasional, pasa a las siguientes preguntas)

	Sí	No
a) ¿Ha tenido problemas con su familia o amigos a causa del trago?		
b) ¿Ha perdido amigos/as por el trago?		
c) ¿Ha tenido ganas de disminuir lo que bebe?		
d) ¿Le ha ocurrido en ocasiones que sin darse cuenta termina tomando más de lo que piensa?		
e) ¿Ha tenido que tomar alcohol en las mañanas?		
f) ¿Le ha ocurrido que al despertar, después de haber bebido, recuerda sólo parte de lo que pasó?		
g) ¿Le molesta que lo critiquen por la forma en que toma?		

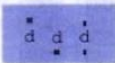
**39. Peso:**      **Kg.**      **Talla:**      **mt.** **IMC:**      **Estado nutricional:**

## 8.4 Atención-Atención-Atención-Test d2 (spanische Version nach Seisdodos Cubero)

**d2**

Esta prueba trata de conocer su capacidad de concentración en una tarea determinada. En esta página se le presenta un ejemplo y una línea de entrenamiento para que usted se familiarice con la tarea.

**Ejemplo**



Observe las tres letras minúsculas del ejemplo. Se trata de la letra **d** acompañada de dos rayitas. La primera **d** tiene las dos rayitas encima, la segunda las tiene debajo y la tercera **d** tiene una rayita encima y otra debajo. Observe que en estos casos la letra **d** va acompañada de dos rayitas.

Su tarea consistirá en buscar las letras **d** iguales a esas tres (con dos rayitas) y marcarlas con una línea (/). Fíjense bien, porque hay letras **d** con más de dos o menos de dos rayitas y letras **p**, que NO deberá marcar en ningún caso, independientemente del número de rayitas que tengan. Si se equivoca y quiere cambiar una respuesta, debe tachar la línea con otra, formando un aspa (X), de forma que se advierta que desea corregir el error.

Ud. sólo deberá marcar las letras **d** con dos rayitas. Practique en la línea de entrenamiento que aparece al final de esta página.

Observe que cada letra lleva encima al final un número. Luego compruebe que ha marcado las letras números **1, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 17, 19 y 22**.

A la vuelta de la hoja (ESPERE NO LA VUELVA TODAVÍA) encontrará 14 líneas similares a la línea de práctica que acaba de realizar. De nuevo, su tarea consistirá en marcar las letras **d** con dos rayitas. Comenzará en la línea nº 1 y cuando el examinador le diga ¡CAMBIO!, pasará a trabajar a la línea nº 2 y cuando el examinador diga ¡CAMBIO! comenzará la siguiente línea de prueba y así sucesivamente. compruebe que no se salta ninguna línea.

Trabaje tan rápidamente como pueda sin cometer errores. Permanezca trabajando hasta que el examinador diga ¡BASTA!; en ese momento deberá pararse inmediatamente y dar la vuelta a esta hoja.

**ESPERE. NO VUELVA LA HOJA HASTA QUE SE LO INDIQUE EL EXAMINADOR.**

**Línea de entrenamiento**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
d	p	d	d	d	d	p	d	d	p	d	d	d	d	p	p	d	d	d	p	d	d
/		/																			

Autor: Rolf Brinkenamp - Copyright 1982 by Hogrefe & Huber Publishers.  
Copyright de la edición española 2002 by TEA Ediciones, S.A. Prohibida la reproducción total o parcial. Todos los derechos reservados. Este ejemplo está impreso en DOS Tintas. Si se presentan uno en negro, es una reproducción legal. En beneficio de la profesión y en el suyo propio. NO LA UTILICE - Printed in Spain. Impreso en España.





## Danksagung

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nie das Werk einer einzelnen Person. Ich möchte mich an dieser Stelle bei all den Menschen bedanken, die mir die Erstellung meiner Dissertation erst ermöglicht haben.

Zu allererst möchte ich meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Katja Radon danken. Eine kompetentere und engagiertere Betreuerin hätte ich mir nicht wünschen können. Selbst wenn ich abends um 22:00 Uhr eine E-Mail an sie richtete, war es keine Seltenheit, innerhalb von 30 Minuten eine Antwort zu erhalten, die keine Fragen offen ließ – außergewöhnlich!

Auch Prof. Dr. D. Nowak möchte ich danken, der mir die Tür zu seinem Institut geöffnet hat, sowie den weiteren Mitarbeitern des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der LMU München, die an der Planung und Realisierung des Projekts beteiligt waren. Vor allem Frau Paola Ruttkowskis Hilfe bei der Organisation der Unternehmung war sehr wertvoll.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner chilenischen Projektpartnerin Marie Astrid Garrido Campos, ohne die das Projekt weder zustande gekommen noch durchführbar gewesen wäre. Sie leistete unschätzbare Vorarbeit vor Ort, öffnete mir ihr Haus und half mir bei der Datenerhebung. In ihr habe ich nicht nur eine kompetente Forschungspartnerin, sondern auch eine gute Freundin gefunden. Ebenso möchte ich den weiteren Mitarbeitern des „Instituto de Seguridad del Trabajo“ in Puerto Montt danken, die mir stets beratend und helfend beiseite standen.

Von herausragender Bedeutung für das Gelingen der Studie war die umfassende Hilfe der Dorfkrankenschwester und „guten Seele“ von Carelmapu, Juana Díaz Delgado, und ihres Ehemannes Raúl Serón González von der Fischereiverwaltung. Nicht nur boten sie mir Unterkunft und Räumlichkeiten zur Durchführung der Untersuchungen und stellten mir Listen und Adressen der Muscheltaucher zu Verfügung, sondern Juanita begleitete mich auch monatelang beinahe täglich dabei, die Taucher zur Studienteilnahme einzuladen. Ich bin beiden überaus dankbar.

Nicht möglich gewesen wäre die Studie ohne die 134 Probanden, die ihre knapp bemessene Freizeit für die Untersuchung opferten. Ihnen bin ich zu großem Dank verpflichtet. Eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz der Unternehmung spielte die wohlwollen-

de Unterstützung der Fischereigewerkschaften Carelmapus, denen ich ebenfalls danken möchte.

Nicht zuletzt und von ganzem Herzen „Danke“ an meine Eltern, meine Schwester Franziska und meine Freundin Stephanie, die mich immer liebevoll unterstützt haben und auch durch ihr kritisches Korrekturlesen Anteil an der Entstehung der Dissertation hatten.

Ich schätze mich sehr glücklich, von so vielen großartigen Menschen unterstützt worden zu sein.

## Eidesstattliche Versicherung

Hindelang, Benedikt

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Aufmerksamkeitsdefizite bei chilenischen Muscheltauchern**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Doktorandin/Doktorand